This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

UC-NRLF
$B 34 782

UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
GIFT OF
F. L. A. PIOCHE.
1871.
Accessions No. 17564 Shelf No.

MANUEL

DE

GÉOLOGIE ÉLÉMENTAIRE.

TOME II.

Paris. – Imprimerie de L. MARTINET, rue Mignon, 2.

MANUEL

DE

GÉOLOGIE ÉLÉMENTAIRE

OU CHANGEMENTS ANCIENS

DE LA TERRE ET DE SES HABITANTS,

TELS QU'ILS SONT REPRÉSENTÉS PAR LES MONUMENTS GÉOLOGIQUES;

Par sir CHARLES LYELL,

Membre de la Société Royale de Londres, auteur des *Principes de Géologie*, etc

Traduit de l'anglais sur la cinquième édition,

AVEC LE CONSENTEMENT ET LE CONCOURS DE L'AUTEUR,

Par M. HUGARD,

Aide de minéralogie au Muséum d'histoire naturelle,
Ancien secrétaire de la Société Géologique de France, etc.

CINQUIÈME ÉDITION

Considérablement augmentée et illustrée de 750 gravures sur bois.

TERTIAIRE.

SECONDAIRE.

PRIMAIRE.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA. PARIS.

LANGLOIS ET LECLERCQ, ÉDITEURS

RUE DES MATHURINS-SAINT-JACQUES, 10.

1857.

BIBLIOTHÈQUE

1856
V.2

AVIS DES ÉDITEURS.

Au moment de livrer à l'impression la dernière feuille de ce deuxième volume, nous recevons de l'auteur, M. Lyell, un *Supplément à la 5e édition du Manuel de Géologie élémentaire*. Ce travail étendu (1) apporte au texte quelques changements nécessités par les progrès nouveaux de la science, et fait connaître des découvertes récentes d'une importance capitale. Malheureusement, et à notre grand regret, son développement ne nous permet pas de l'imprimer immédiatement pour le joindre au tome II de la traduction française, dont il retarderait trop la publication. Nous en donnerons seulement ici le sommaire, nous réservant de le faire paraître en entier, dans le plus bref délai.

SOMMAIRE

DU SUPPLÉMENT A LA 5e ÉDITION.

Couches Pliocènes d'Angleterre.

Preuves déduites des coquilles fossiles, qu'un refroidissement graduel du climat a eu lieu en Angleterre aux périodes successives des Crags Corallin, Rouge, et de Norwich. — Monographie des mollusques du Crag, par Searles Wood. — Le Mastodonte du Crag, espèce Pliocène. — Différents groupes de mammifères fossiles au sein des dépôts d'eau douce et de ceux de transport (*drift*) de la vallée de la Tamise. — Bœuf musqué fossile dans le terrain de transport des environs de Londres et de Berlin.

(1) 34 pages in-8°, texte anglais ; plusieurs figures de fossiles, et une coupe. Londres, 12 mars 1857. — Une 2e édition, revue et augmentée, de ce *Supplément*, a paru le 25 avril ; c'est celle que nous traduirons, et dont nous donnons ici le sommaire.

Où tracer la ligne de démarcation entre les couches Tertiaires Eocènes et Miocènes ?

Classification des couches Miocènes et Éocènes. — A quel point doit finir le Miocène Inférieur et commencer l'Éocène Supérieur. — Motifs qui ont fait proposer un changement de nomenclature. — Coquilles et quadrupèdes fossiles, Miocènes, des Collines Sewâlik ou Sub-Himalayennes.

Faune Miocène des Collines Sewâlik.

Dénudation du Weald.

Découverte de Crag Inférieur au sommet des Downs du nord, entre Folkestone et Dorking.

Nouveaux mammifères fossiles du Purbeck ou couches Oolitiques Supérieures, dans le Dorsetshire.

Découverte de sept ou huit genres de Mammifères dans les couches du Purbeck ou Oolitiques Supérieures du comté de Dorset. — Premier exemple d'une mâchoire de mammifère dans les Roches Secondaires. — Marsupiaux et Placentaires insectivores; Marsupiaux herbivores. — Figures et descriptions. — Nouveau jour jeté sur le *Microlestes*, ou mammifère Triassique le plus ancien. — Portée générale des nouvelles découvertes.

Découverte de débris de Mammifères au sein de roches d'une haute antiquité dans la Caroline du Nord, États-Unis.

Trias Supérieur des Alpes Orientales.

Équivalent Marin du Trias Supérieur constaté dans les Alpes Autrichiennes. — Vraie position des lits de St. Cassian et de Hallstatt. — 800 nouvelles espèces de Mollusques et de Rayonnés Triassiques. — Chaînons ainsi fournis pour lier les faunes Paléozoïque et Néozoïque.

Existence évidente de végétaux Phanérogames (non Gymnospermes) dans la formation Houillère.

Roches Siluriennes et Cambriennes, et théorie des Colonies, de M. Barrande.

Ancienneté d'Oiseaux fossiles.

Parmi ces différentes questions d'un si haut intérêt que développe le Supplément, il est inutile, sans doute, que nous signalions à nos lecteurs plus spécialement la découverte de *Nouveaux mammifères fossiles dans le Purbeck, ou couches Oolitiques Supérieures du comté de Dorset en Angleterre ;* les géologues, mieux que nous, saisiront la portée de ce véritable événement scientifique.

Nous croyons aussi devoir donner ici, par anticipation, un

extrait de la nouvelle classification que propose M. Lyell pour les divisions Miocène et Éocène des terrains Tertiaires; les changements qu'elle comporte sont principalement le résultat de voyages récents de l'auteur en Allemagne et sur divers points du continent; elle aura pour les Français un avantage, celui d'être, plus que l'ancienne, en harmonie avec les idées qui prévalent généralement aujourd'hui, sur la matière, chez nos plus éminents Géologues.

EXTRAIT DU SUPPLÉMENT A LA 5e ÉDITION.

	Exemples anglais.	Équivalents étrangers et synonymes.
5. Miocène supérieur.	Manque dans les Iles Britanniques.	Faluns de Touraine, t I, p. 281. Couches du Bolderberg en Belgique, t. I, p. 285. Sansans (dépt. du Gers), midi de la France. Bassin de Vienne, t. I, p. 286. Grès de Fontainebleau, t. I, p. 310.
6. Miocène inférieur.	Couches de Hempstead, île de Wight, t. I, p. 307.	Calcaire de la Beauce, t. I, p. 310. Bassin de Mayence, t. I, p. 304. Lits du Limbourg en Belgique, t. I, p. 301. Couches *Oligocènes* du nord de l'Allemagne. Couches de Nebraska aux États-Unis, t. I, p. 327.
7. *A.* Éocène supérieur.	1. Lits de Bembridge, île de Wight, t. I, p. 330. 2. Série d'Osborne, t. I, p. 333. 3. Série de Headon, *Ibid.* 4. Argile de Barton, t. I, p. 336.	1. Série Gypseuse de Montmartre, t. I, p. 351. 2 et 3. Calcaire Siliceux, ou Travertin Inférieur, t. I, p. 354. 4. Grès de Beauchamp, ou Sables Moyens, t. I, p. 355. 4. Couches de Laeken en Belgique.
7. *B.* Éocène moyen.	1. Lits de Bagshot et de Bracklesham, t. I, p. 338. 2. Manque en Angleterre?	1. Calcaire Grossier du Bassin de Paris, t. I, p. 355. 2. Sables du Soissonnais, Sables Supérieurs de Cuise-la-Motte, t. I, p. 358. 1. 2. Formation Nummulitique d'Europe, d'Asie, etc., t I, p. 359.

8. Eocène inférieur, comme dans le tableau, t. I, p. 169.

MANUEL

DE

GÉOLOGIE ÉLÉMENTAIRE.

CHAPITRE XXI.

GROUPE JURASSIQUE (*suite*). — LIAS.

Caractère minéralogique du Lias. — Nom de Calcaire à Gryphées donné à ce terrain. — Coquilles et poissons fossiles. — Radiaires. — Ichthyodorulites. — Reptiles du Lias. — Ichthyosaure et Plésiosaure. — Reptile marin des îles Galapagos. — Destruction et enfouissement subits des animaux fossiles du Lias. — Couches fluvio-marines dans le Gloucestershire, et Calcaire à Insectes. — Végétaux fossiles. — Origine de l'Oolite, du Lias et des formations alternantes calcaires et argileuses. — Bassin houiller Oolitique de Virginie aux États-Unis.

Lias. — Le nom de *Lias* usité dans certaines provinces en Angleterre a été généralement adopté pour désigner une formation de calcaire argileux, de marne et d'argile, qui constitue la base de l'Oolite, et que plusieurs géologues ont classée dans ce groupe. Les deux divisions passent en effet de l'une à l'autre en quelques points du pays de Bath : une marne sableuse, nommée marne du Lias, placée entre elles, partage à la fois les caractères minéralogiques du Lias et ceux de l'Oolite Inférieure. Les deux terrains ont aussi quelques fossiles communs, tels que l'*Avicula inæquivalvis* (fig. 398). On peut néanmoins, dans une grande partie de l'Europe, considérer le Lias comme constituant un groupe séparé et indépendant, d'une épaisseur de 150 à 300 mètres. Ce groupe contient plusieurs fossiles

particuliers, et offre un aspect lithologique uniforme ; bien qu'il soit généralement en stratification parallèle avec l'Oolite, il présente cependant quelques discordances : dans le

Fig. 398. — *Avicula inæquivalvis*, Sow. Oolite inférieure.

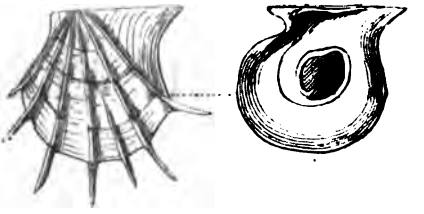


Fig. 399. — *Avicula cygnipes*, Phil. Marne, comté de Gloucester ; Lias, comté d'York.

Jura, par exemple. Aux environs de Lons-le-Saulnier, les couches sont inclinées d'environ 45 degrés, tandis que les marnes oolitiques qui les surmontent sont horizontales.

L'un des traits les plus caractéristiques du Lias en Angleterre, en France et en Allemagne, c'est une alternance de petites bandes argileuses de couleur foncée et minces avec des couches d'un calcaire bleu ou gris dont la surface, à l'air, se colore légèrement en brun, ce qui donne aux carrières exploitées dans cette roche une apparence rubanée (1).

Le Lias comprend : 1° Lias Supérieur (lits très minces d'argiles et de schistes) ; 2° Marne (sorte de calcaire dur, schisteux) ; 3° Lias Inférieur (calcaire, coquilles et argile). Ces divisions contiennent quelques fossiles communs. Quoique la couleur prédominante du calcaire de cette formation soit le bleu, quelques couches du Lias Inférieur sont d'un blanc jaunâtre, et ont reçu le nom de *Lias Blanc*. En diverses parties de la France, près des Vosges et dans le Luxembourg, d'après M. E. de Beaumont, le Lias, contenant des *Gryphæa arcuata*, *Plagiostoma giganteum* (fig. 400), et d'autres fossiles caractéristiques, passe insensiblement à l'état arénacé, et, dans les environs du Hartz, la Westphalie et la Bavière, ses parties inférieures sont sableuses et fournissent quelquefois une pierre à bâtir.

(1) Conybeare et Phillips, p. 261.

Quelques auteurs ont donné au Lias le nom de *Calcaire à Gryphées*, par suite du grand nombre de coquilles du genre

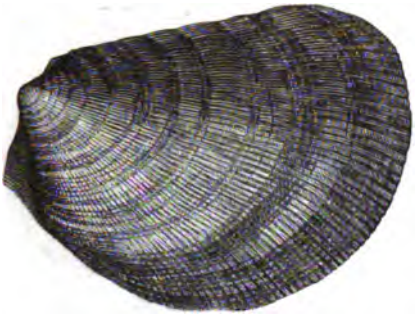


FIG. 400. — *Plagiostoma* (*Lima*) *giganteum*, Sow. Oolite Inférieure et Lias.

FIG. 401. — *Gryphæa incurva*, Sow. (*G. arcuata*, Lam.) Lias.

huître, ou *Gryphæa*, qu'il renferme (fig. 401, et fig. 30, tome I, p. 47).

Une grande coquille d'un poids considérable, l'*Hippopodium* (fig. 402), voisine de l'*Isocardia*, caractérise également les schistes du Lias Inférieur. Le Lias est remarquable en ce qu'il constitue la plus ancienne des roches secondaires

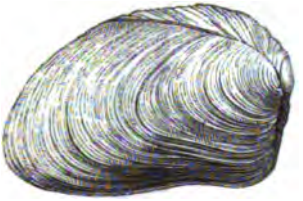


FIG. 402. — *Hippopodium ponderosum*, Sow.; demi-grandeur. Lias, Cheltenham.

FIG. 403. — *Spirifer Walcotii*, Sow. Lias Inferieur.

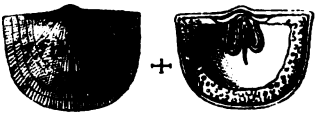


FIG. 404. — *Leptæna Moorei*, Dav. Lias Supérieur, Ilminster.

où l'on rencontre les brachiopodes des genres *Spirifer* et *Leptæna* (fig. 403 et 404). M. Davidson a compté jusqu'à neuf espèces de Spirifères. Ces mollusques palliobranches

prédominent au sein des couches plus anciennes que le Trias ; mais, dans l'état actuel de nos connaissances, il ne paraît pas qu'ils aient survécu à la période liassique. Les couches

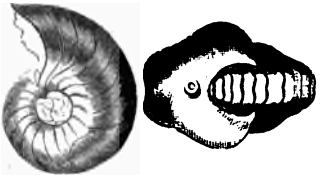


FIG. 405. — *Nautilus truncatus*. Lias.

FIG. 406. — *Ammonites Nodotianus ? A. striatus*, Sow. Lias.

marines du Lias abondent aussi en céphalopodes des genres *Belemnites*, *Nautilus* et *Ammonites* (fig. 405, 406, 407).

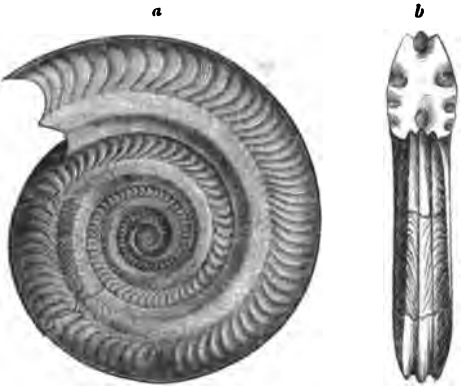


FIG. 407. — *Ammonites bifrons*, Brug. *A. Walcotii*, Sow. Argiles schisteuses du Lias supérieur.

Parmi les Crinoïdes du Lias, on remarque le *Pentacrinus Briareus* (fig. 408). Dans les couches marneuses du Dorsetshire et du Yorkshire, on a découvert des échantillons complets de l'*Ophioderma Egertoni* (fig. 409) que l'on peut rapporter aux *Ophiuræ* de Müller.

L'*Extracrinus Briareus* (que le Major Austin a séparé du *Pentacrinus*, d'après des différences génériques) forme, dans

le Lias des comtés de Dorset, de Gloucester et d'York, des masses entrelacées constituant de véritables lits d'une extension considérable. Ces fossiles sont souvent fortement chargés

FIG. 408. — *Extracrinus Briareus*, demi-grandeur naturelle (le corps, les bras et une portion de la tige). Lias, Lyme Regis.

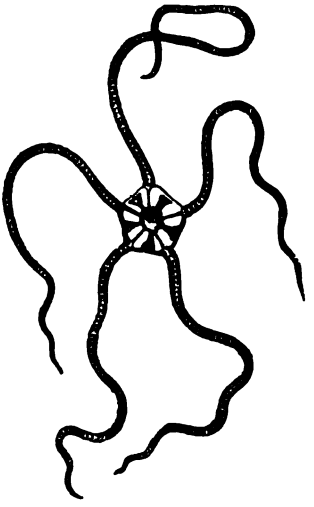


FIG. 409.—*Ophioderma Egertoni*, E. Forb. Marne du Lias, Lyme Regis.

de pyrite. L'*Extracrinus*, avec ses énormes bras tentaculaires, paraît s'être fréquemment fixé aux bois de transport de la mer Liassique, de la même manière que les Balanes actuelles. Il existe dans le Lias une autre espèce d'*Extracrinus*, et plusieurs de *Pentacrinus;* ce dernier genre se rencontre dans presque toutes les formations, depuis le Lias jusqu'à l'Argile de Londres. Il est représenté dans les mers actuelles par le délicat et rare *Pentacrinus Caput-Medusæ* des Antilles ; et celui-ci est peut-être le seul survivant de la grande et ancienne famille des Crinoïdes, qui fut si largement et si abondamment représentée dans les formations anciennes par les genres *Taxocrinus*, *Actinocrinus*, *Cyathocrinus*, *Encrinus*, *Apiocrinus* et autres.

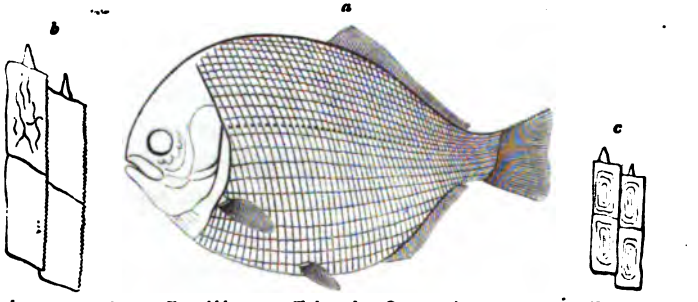
Les poissons fossiles du Lias ressemblent génériquement à ceux de l'Oolite qui, suivant M. Agassiz, appartiennent tous

à des genres éteints, et diffèrent, pour la plupart, des ichthyolites de la période Crétacée. Parmi ces poissons est une espèce de *Lepidotus* (*L. gigas*, Agass.) (fig. 410), que

Fig. 410. — Écailles du *Lepidotus gigas*, Agass. — *a*. Deux écailles détachées.

l'on trouve dans le Lias d'Angleterre, de France et d'Allemagne (1).

Nous avons déjà cité ce genre (tome I, p. 408) dans le Weald, et l'on suppose qu'il habitait à la fois les rivières et les côtes marines. Un autre genre de Ganoïdes (ou poissons à écailles dures, brillantes et émaillées), l'*Æchmodus* (fig. 411),



b. Écailles d'*Æchmodus Leachii*.

Fig. 411. — *a*. *Æchmodus*. Contour du corps restauré.

c. Écailles de *Dapedius monilifer*.

est presque exclusivement liassique. Les dents d'une espèce d'*Acrodus* abondent aussi dans cette formation (fig. 412).

Mais les débris de poissons qui ont le plus vivement excité l'attention, sont de grosses épines osseuses appelées *ichthyodorulites* (*a*, fig. 413), que certains naturalistes ont regardées

(1) Agassiz, *Poissons Fossiles*, vol. II, tab. 28, 29.

comme appartenant à des mâchoires, et d'autres comme une sorte d'arme analogue à celle des Balistes et du Silure actuels ; mais M. Agassiz a démontré l'erreur des deux

FIG. 412. — *Acrodus nobilis*, Agass. (dent), communément appelée en Angleterre *fossil Leech* (sangsue fossile). Lias, Lyme Regis et Allemagne.

opinions. En effet, les épines auxquelles on voulait assimiler ces débris s'articulent avec la colonne vertébrale, tandis qu'il n'existe aucune trace d'articulation dans les ichthyo-

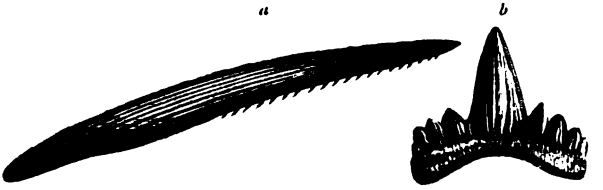


FIG. 413. — *Hybodus reticulatus*, Agass. Lias, Lyme Regis.
a. Portion de nageoire, communément appelée Ichthyodorulite. — *b*. Dent.

dorulites. Ils paraissent avoir été simplement des épines osseuses formant la partie antérieure de la nageoire dorsale,

FIG. 414. — *Chimæra monstrosa* (1). — *a*. Épine qui formait la partie antérieure de la nageoire dorsale.

comme chez les genres actuels *Cestracion* et *Chimæra* (*a*, fig. 414). Dans ces deux derniers genres, de même que dans l'*Hybodus* fossile (fig. 413) de la famille des Requins,

(1) Agassiz, *Poissons Fossiles*, vol. III, tab. C, fig. 1.

trouvé à Lyme Regis, la face concave, postérieure, est armée de petites épines simplement engagées dans les chairs et attachées par des muscles très forts. « Elles servent, dit le docteur Buckland, comme chez la Chimère (fig. 414), à lever et à baisser la nageoire, et leur action ressemble à celle d'un mât mobile qui élève ou qui abaisse en arrière la voile d'une barque (1). »

Reptiles du Lias. — Ce ne sont point toutefois les poissons fossiles, mais les reptiles qui, par leur nombre, leur grosseur et leur structure extraordinaire, fournissent le trait le plus saillant des débris organiques du Lias. Parmi les plus singuliers de ces animaux, on observe plusieurs espèces d'*Ichthyosaurus* et de *Plesiosaurus* (fig. 415, 416). Le genre *Ichthyosaurus* n'est point limité à cette formation ; on l'a rencontré jusque dans les couches de la Craie Inférieure d'Angleterre et dans le Trias d'Allemagne, formation qui succède immédiatement au Lias dans l'ordre descendant (2). Il est évident, d'après leurs vertèbres conformées comme celles des poissons, d'après leurs nageoires, semblables à celles d'un marsouin ou d'une baleine, d'après la longueur de la queue et d'autres particularités de structure, que les Ichthyosaures étaient aquatiques. Leur mâchoire et leurs dents montrent qu'ils étaient carnivores ; et les restes à moitié digérés de poissons et de reptiles trouvés à l'intérieur de leur squelette indiquent la nature précise de leur alimentation (3).

Un échantillon de nageoire postérieure, ou rame, de l'*Ichthyosaurus communis*, fut découvert en 1840 à Barrow-on-Soar, par sir P. Egerton ; elle offre distinctement les restes de rayons cartilagineux qui se bifurquent en s'approchant du bord, tout comme dans la nageoire d'un poisson (*a*, fig. 417). On avait d'abord supposé, dit M. Owen, que les organes de

(1) *Bridgewater Treatise*, p. 290.
(2) *Ibid.*, p. 168.
(3) *Ibid.*, p. 187.

la locomotion chez l'Ichthyosaure étaient enveloppés, comme chez la tortue et le marsouin, d'un tégument lisse n'ayant d'autre soutien que les os et les ligaments; mais on sait

Fig. 415. — Squelette d'*Ichthyosaurus communis*, restauré par Conybeare et Cuvier, *a*, Vertèbres coudales.

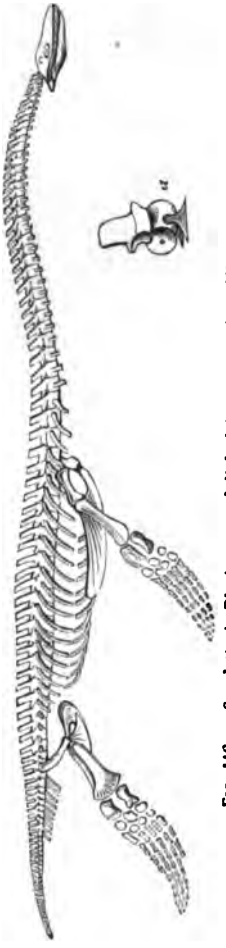


Fig. 416. — Squelette de *Plesiosaurus dolichodeirus*, restauré par W.-D. Conybeare. *a*, Vertèbres cervicales.

aujourd'hui que la nageoire était plus large, dépassait de beaucoup la charpente osseuse, et différait grandement du type Reptile ordinaire par ses rayons, semblables à

ceux des poissons. La figure 417 représente, près de *b*, les os postérieurs ou osselets digitaux de la rame; au delà est un tégument fortement carbonisé de la moitié de la nageoire terminale, tégument dont le contour est parfaitement marqué (1).

D'après M. Owen, indépendamment des rames antérieures, ces sauriens à cou roide et court étaient munis d'une na-

Fig. 417. — Partie postérieure de la nageoire de derrière, ou rame d'*Ichthyosaurus communis*.

geoire caudale sans rayons osseux et simplement tégumentaire, se dirigeant verticalement, — conformation qui leur permettait de tourner la tête avec rapidité (2).

M. Conybeare a donné en 1824, après examen de plusieurs squelettes presque complets, une restauration idéale de l'ostéologie de ce genre et de celle du *Plesiosaurus* (3) (fig. 415, 416). Ce dernier animal avait un cou extrêmement long et une tête très petite, des dents semblables à celles du crocodile, et des rames analogues à celles de l'*Ichthyosaurus*, mais plus larges. On suppose qu'il a vécu dans des estuaires ou des mers peu profondes, et qu'il respirait à l'air comme l'Ichthyosaure et nos cétacés modernes (4). Quelques-uns de ces reptiles avaient des dimensions colos-

(1) *Geol. Soc. Trans.*, 2e série, vol. VI, p. 199, pl. XX.

(2) *Ibid.*, 2e série, vol. V, p. 511.

(3) *Ibid.*, 2e série, vol. I, pl. 49.

(4) Conybeare et de La Bèche, *Geol. Trans.*, 1re série, vol. V, p. 559; et Buckland, *Bridgew. Treat.*, p. 203.

sales. Un échantillon d'*Ichthyosaurus platyodon*, du Lias de Lyme, aujourd'hui au Muséum Britannique, doit avoir eu plus de 7 mètres de long; un *Plesiosaurus* de la même collection, plus de 3 mètres. La forme de l'Ichthyosaure porte à croire que l'animal fendait les flots comme le marsouin; mais on suppose que le Plésiosaure, du moins l'espèce à long cou (fig. 416), était conformé plutôt pour pêcher dans les bas-fonds et dans les baies, à l'abri des forts brisants.

Dans plusieurs échantillons d'Ichthyosaure et de Plésiosaure, les os de la tête, du cou et de la queue sont dans leur position naturelle, tandis que ceux du reste du squelette sont détachés et confusément mêlés. M. Stutchburg a pensé qu'après la mort, leur cadavre s'était gonflé de gaz par la décomposition des viscères abdominaux, et que les os, bien que désunis, étaient restés retenus comme dans un sac par l'enveloppe du derme, jusqu'à ce que le tout, s'imprégnant d'eau, vînt à s'enfoncer (1). Comme les individus appartiennent à tous les âges, le docteur Buckland suppose qu'ils ont péri d'une mort violente; on peut tirer la même conclusion de cette circonstance qu'ils ont échappé aux attaques des animaux de leur propre race ou aux poissons que l'on trouve à l'état fossile dans les mêmes couches.

Pendant les vingt dernières années, des anatomistes ont admis que ces sauriens éteints avaient habité la mer; de même qu'aujourd'hui les tortues vivent les unes dans les eaux douces et les autres dans les eaux de la mer, de même il a dû exister autrefois des sauriens propres aux eaux salées, et d'autres appelés à vivre dans l'eau douce. On sait que le crocodile commun du Gange fréquente indifféremment cette rivière, ou les eaux saumâtres et salées qui avoisinent son embouchure. Il paraît aussi que des crocodiles vivent en grand nombre dans les rivières de l'Isla de Pinos (île des Pins), au sud de Cuba, et dans la mer ouverte, autour de cette île.

(1) *Quart. Geol. Journ.*, vol. II, p. 411.

Récemment on a découvert un saurien dont les habitudes sont aquatiques et exclusivement marines. Il vit aux îles Galapagos où les voyageurs du *Beagle* l'ont découvert en 1835. Ses habitudes ont été observées par M. Darwin. Les îles Galapagos sont situées sous l'équateur, à près de 900 kilomètres ouest de la côte de l'Amérique méridionale. Elles sont volcaniques ; quelques-unes ont de 900 à 1200 mètres d'élévation ; et l'une d'elles, l'île d'Albemarle, a 120 kilomètres de long. Le climat en est doux ; il y pleut rarement, et dans tout l'Archipel on ne rencontre qu'un seul ruisseau d'eau douce qui se dirige à la mer. Le sol est presque partout aride et raboteux, et la végétation rare. Les oiseaux, les reptiles, les plantes et les insectes y sont, à peu d'exceptions près, d'espèces étrangères à celles du reste du globe, bien que toutes participent, par leurs formes générales, du type de l'Amérique méridionale.

Comme mammifères, dans ces îles, dit M. Darwin, on cite une espèce seulement bien constatée, qui se rapporte à une grande souris ; quant aux lézards, tortues terrestres et serpents, le nombre en est si considérable, que l'on peut appeler cet endroit la Terre des Reptiles. Ce n'est pas que les espèces soient bien variées, mais les individus s'y rencontrent en abondance extraordinaire. On y a reconnu une espèce de tortue marine (*Testudo Indicus*), quatre lézards, à peu près autant de serpents, mais pas de grenouilles ni de crapauds. Deux des espèces de lézards appartiennent à la famille des *Iguanidæ* de Bell, et à un genre particulier (*Amblyrhynchus*), ainsi nommé par ce naturaliste pour la forme obtuse de la tête et la brièveté du museau (1). L'une de ces deux espèces a des habitudes terrestres ; elle s'enfonce sous le sol et fourmille partout ; elle est munie d'une queue ronde, et la bouche ressemble un peu, par sa forme, à celle de la tortue marine. L'autre espèce est aquatique, et sa queue, latéralement aplatie, lui sert

(1) Ἀμβλυς, *amblys* (émoussé) ; ῥυγχος, *rhynchus* (nez).

pour nager (fig. 418). « Ce saurien marin, dit M. Darwin, est extrêmement commun dans toutes les îles de l'archipel. Il vit exclusivement sur les bords rocailleux de la mer, et je n'en ai jamais rencontré un seul à 10 mètres de la plage. Sa longueur habituelle est d'environ 90 centimètres ;

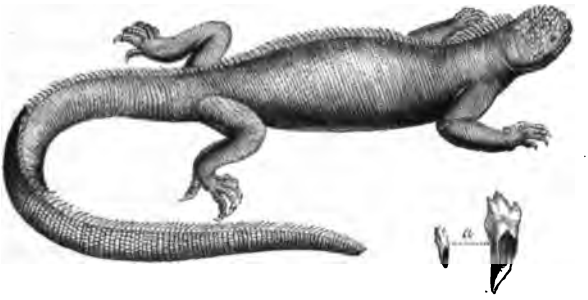


FIG. 418. — *Amblyrhynchus cristatus*, Bell. Longueur variant de 0m,90 à 1m,20. Le seul Lézard marin actuel connu. — *a*. Dent, grandeur naturelle, et la même grossie.

mais certains individus mesurent plus d'un mètre. Sa couleur est d'un noir sale ; ses mouvements sont lents sur le sol, mais il nage avec la plus grande facilité, par une sorte d'action du corps et de la queue qui rappelle les évolutions d'un serpent; ses jambes, pendant cette manœuvre, restent immobiles et étroitement fixées contre les flancs. Les membres et les fortes griffes qui les terminent sont admirablement conformés pour que l'animal puisse ramper sur les masses de laves rocailleuses et fissurées dont la côte est partout formée. On voit souvent sur les roches noires, à quelques décimètres au-dessus du bord, des groupes de six ou sept de ces hideux reptiles, exposer au soleil leurs membres étendus. L'estomac de ceux qu'on ouvrit était plein d'une sorte de plante qui croît au fond de la mer, à une petite distance de la côte. Pour aller chercher cette plante, les lézards se précipitent par troupe à la mer. Les gens du navire jetèrent l'un d'eux dans l'eau salée après l'avoir attaché à un poids très lourd qui le retint au fond : lorsqu'on le retira, après une heure d'immersion, il était tout aussi actif et dispos qu'avant l'opération. Les habitants ignorent

où l'animal dépose ses œufs, fait singulier eu égard à l'abondance des individus, et à cette autre circonstance que les naturels connaissent parfaitement les œufs de l'Amblyrhynchus terrestre, saurien également herbivore (1). »

Dans les dépôts que forment aujourd'hui, aux îles Galapagos, les sédiments arrachés à la plage battue par les eaux, les débris de sauriens terrestres ou marins, aussi bien que ceux de chéloniens et de poissons, se mêlent aux coquilles marines, sans aucun ossement de quadrupède terrestre ou de batracien; cependant rien n'empêcherait qu'on y rencontrât aussi des débris de mammifères marins, car, outre différentes espèces de cétacés, on connaît des phoques dans les parages de Galapagos; et, sous ce rapport, le parallèle entre la faune moderne décrite ci-dessus et la faune ancienne du Lias ne serait point exact.

Destruction subite des Sauriens. — On a observé qu'un grand nombre des poissons et des sauriens trouvés à l'état fossile dans le Lias, avaient dû être ensevelis après une mort subite, et que l'œuvre de destruction, quelle qu'elle fût, s'était répétée plusieurs fois.

« Rarement, dit le docteur Buckland, on rencontre un seul os, une seule écaille dérangés de la place qu'ils occupaient du vivant de l'animal; il n'en serait pas de même si les corps de ces êtres étaient restés exposés seulement pendant quelques heures, soit à la putréfaction, soit à la voracité des poissons ou d'autres petits animaux dans le fond de la mer (2). » Non-seulement les squelettes d'ichthyosaures sont entiers, mais quelquefois le contenu de leur estomac subsiste intégralement dans la cavité thoracique, si bien que l'on peut reconnaître l'espèce particulière de poisson dont ils se nourrissaient, et distinguer la forme des excréments. Il n'est pas rare de rencontrer des lits entiers de ces coprolites à différentes profondeurs dans le Lias, et, à une cer-

(1) *Darwin's Journal*, chap. XIX.
(2) *Bridgew. Treat.*, p. 125.

taine distance, des squelettes entiers des animaux dont ils sont provenus. « On supposerait, dit Sir H. de la Bèche, que le fond boueux de la mer a reçu de temps à autre de petits apports subits de matières qui auront couvert les coprolites et autres débris accumulés durant chaque intervalle (1). » Nous verrons plus loin qu'à Lyme Regis la surface seule des lits de coprolites déposés au fond de la mer a subi par l'action de l'eau une décomposition partielle, avant que ceux-ci fussent recouverts et protégés par le sédiment boueux qui les a plus tard enveloppés pour toujours (2).

On a aussi rencontré dans le Lias de Lyme de nombreux échantillons de Calmar (*Geoteuthis Bollensis*, Schuble sp.) ainsi que des poches à encre encore gonflées et contenant de la matière noire desséchée : cette matière se compose principalement de carbone, et se trouve légèrement imprégnée de carbonate de chaux. Les céphalopodes, comme les sauriens, ont donc été enfouis subitement dans les sédiments, car s'ils fussent restés longtemps exposés aux agents extérieurs après leur mort, la membrane qui renferme l'encre se serait bientôt altérée (3).

Nous savons que les poissons de rivière sont quelquefois suffoqués, même dans leur propre élément, par l'eau boueuse des inondations, et l'on ne saurait douter que la décharge périodique de grandes masses d'eau douce trouble dans la mer ne soit encore plus fatale aux tribus marines. J'ai fait voir dans les *Principes de Géologie* que de grandes quantités de boue et d'animaux noyés avaient été entraînées à l'Océan pendant des tremblements de terre, comme à Java en 1699 ; j'ai raconté aussi que des multitudes de poissons morts étaient venues flotter à la surface après le dégagement des vapeurs pernicieuses produites par ces convulsions (4). Mais, durant les intervalles qui se sont écoulés

(1) *Geological Researches*, p. 334.

(2) Buckland, *Bridgew. Treat.*, p. 307.

(3) *Ibid.*

(4) Voyez *Principes de Géologie*, Index : LANCEROTE, ÎLE GRAHAM, CALABRE.

entre les catastrophes de ce genre, des couches ont pu s'accumuler lentement dans la mer du Lias, et quelques-unes de ces couches être formées principalement de coquilles appartenant à une seule espèce d'ammonite ou de gryphite.

On peut conclure de ce qui précède que le Lias est en grande partie un dépôt marin. Toutefois quelques membres de la série, spécialement dans sa portion inférieure, présentent un caractère d'estuaire, et doivent s'être formés sous l'influence de rivières. Dans le Gloucestershire, où l'on observe un bon type du Lias de l'Angleterre occidentale, on divise ce terrain en masse supérieure de schiste avec base de marbre, et en masse inférieure de schiste avec couches calcaires et schisteuses situées tout à fait en dessous. D'après Brodie (1), on a découvert dans la division supérieure de nombreux débris d'insectes et de plantes mêlés à des coquilles marines; dans la division inférieure ces fossiles sont encore plus abondants. Un des lits de la série, dont l'épaisseur dépasse rarement 30 centimètres, a reçu le nom de *Calcaire à Insectes*. Ce lit passe, vers sa partie supérieure, à un schiste qui contient des *Cypris* et des *Estheria* et se trouve rempli d'élytres de plusieurs genres de coléoptères, et de quelques scarabées presque entiers dont les yeux sont dans un bon état de conservation. Les nervures d'ailes d'insectes névroptères (fig. 419) sont aussi merveilleusement conservées dans cette couche. Des fougères, des feuilles de plantes monocotylédonées, et quelques coquilles paraissant d'eau saumâtre ou d'eau douce, accompagnent sur plusieurs points les insectes : mais, en d'autres endroits, les coquilles marines prédominent ; les fossiles semblent varier suivant qu'on examine les couches plus près ou plus loin de

Grandeur naturelle.

Fig. 419. — Aile d'insecte névroptère, du Lias inférieur, comté de Gloucester. (P.-B. Brodie.)

(1) *A History of Fossil Insects*, etc., 1846. Londres.

l'ancien continent ou de la source d'où provenait l'eau douce. On remarque dans plusieurs localités deux ou même trois lits de *Calcaire à Insectes*, et M. Brodie affirme que les mêmes caractères lithologiques et zoologiques se maintiennent depuis le centre du Warwickshire jusqu'à l'extrémité méridionale des Galles. Il résulte de l'examen fait par M. Westwood de plus de trois cents échantillons de ces insectes du Lias, que les coléoptères se rapportent à des genres à la fois xylophages et herbivores, tels que *Elater*, *Carabus*, etc., outre des sauterelles (*Gryllus*) et des ailes détachées des genres *Libellula*, *Ephemera*, *Hemerobius* et *Panorpa* de Linné; l'ensemble de ces insectes n'indique pas moins de vingt-quatre familles. Les espèces en sont ordinairement de petite taille, et ce seul fait impliquerait un climat tempéré; mais plusieurs des débris organiques des autres classes, qui leur sont associés, conduisent à une conclusion différente.

Plantes fossiles. — Parmi les débris végétaux du Lias, on cite plusieurs espèces de *Zamia* trouvées à Lyme Regis, ainsi que des débris de plantes conifères recueillis à Whitby. Les fragments de bois y sont communs, et souvent convertis en calcaire. Un échantillon conservé au muséum de la Société Géologique (fig. 420), et qui porte une Ammonite incrustée à sa surface, montre que certains de ces bois aujourd'hui pétrifiés étaient à l'état de mollesse lorsqu'ils furent plongés au fond de la mer.

FIG. 420.

M. Ad. Brongniart compte quarante-sept acrogènes liassiques, dont la plupart sont des fougères, et cinquante gymnospermes dont trente-neuf cycas et onze conifères. Parmi les cycas dominent les *Zamites* et *Nilssonia;* comme fougères, on mentionne des genres nombreux à feuilles présentant des nervures réticulées (fig. 385), et qui paraissent être caractéristiques de cette époque (1). L'absence jusqu'à pré-

(1) *Tableau des Végétaux Fossiles*, 1849, p. 105.

sent de toute indication d'angiospermes dicotylédonés dans le Lias et l'Oolite est à remarquer. Les feuilles de ces plantes sont fréquentes au sein des couches tertiaires, et on les rencontre aussi dans les couches Crétacées, quoique moins abondamment (voyez tome I, p. 412). Les angiospermes paraissent toutefois avoir été comparativement rares dans ces périodes secondaires plus anciennes, tandis que les cycas et les conifères y déployaient une plus grande richesse.

Origine de l'Oolite et du Lias. — Si maintenant nous essayons de représenter la surface de l'Europe à l'époque de l'Oolite et du Lias, nous imaginerons une mer où le développement des récifs de coraux et la formation des calcaires coquilliers, après avoir duré sans discontinuité pendant des siècles, vinrent à s'interrompre tout à coup et à faire place au dépôt d'un sédiment argileux et dépourvu de coraux, lequel s'accumula pendant des âges jusqu'à une épaisseur de plusieurs centaines de mètres; une autre période survint, et le même espace fut occupé par le sable calcaire ou par des roches solides de coquilles et de coraux, auxquels succéda une nouvelle période de dépôt d'argile. Suivant la remarque de M. Conybeare, le groupe entier de l'Oolite et du Lias consiste en alternances répétées d'argile, de grès et de calcaire, revenant toujours dans le même ordre. Ainsi, les argiles du Lias sont surmontées par les sables de l'Oolite Inférieure, et ceux-ci par le calcaire coquillier et corallin (Oolite de Bath, etc.); de même, dans l'Oolite Moyenne, à l'argile d'Oxford font suite le grit calcaire et le coral rag; en dernier lieu, dans l'Oolite Supérieure, après l'argile de Kimmeridge viennent le sable et le calcaire de Portland (1). Toutefois, comme l'observe sir H. de la Bèche, les couches d'argile s'étendent sur de plus larges surfaces que les sables et les grès (2). Il faut aussi se rappeler que

(1) Conybeare et Phillips, p. 166.
(2) *Geological Researches*, p. 337.

si, dans le Yorkshire, le système oolitique devient arénacé et ressemble au terrain houiller, il revêt dans les Alpes une forme presque entièrement calcaire; on n'y rencontre ni sables ni argiles, et, même dans les contrées intermédiaires, il est plus compliqué et plus variable que ne l'attestent les descriptions ordinaires. Néanmoins, quelques-unes des argiles et certains calcaires conservent un caractère remarquablement uniforme sur des longueurs de 600 à 900 kilomètres de l'Est à l'Ouest et du Nord au Sud.

Suivant M. Thirria, la totalité du groupe oolitique dans le département de la Haute-Saône égale en puissance le groupe anglais correspondant; mais l'importance des divisions argileuses s'y montre en raison inverse : en Angleterre, les argiles sont le double des calcaires, tandis que dans la Haute-Saône elles n'égalent qu'un tiers de cette épaisseur (1). Dans le Jura, les argiles sont encore plus minces; dans les Alpes, elles diminuent de plus en plus et finissent presque par disparaître.

Pour expliquer ces faits, on peut supposer d'abord que le lit de l'Océan a été pendant des siècles le réceptacle de sédiments fins, argileux, portés par des courants sous-marins qui communiquaient avec les rivières ou avec les eaux salées voisines d'une côte en voie de dégradation. Le limon aura cessé d'être transporté sur le même point, soit que la côte même ait été abaissée et submergée, soit que le courant ait modifié sa direction par suite d'un changement dans la configuration du lit de l'Océan ou du continent voisin. Les eaux devinrent alors plus claires et plus propres au développement des zoophytes pierreux. Un sable calcaire se forma par la trituration des coquilles et des coraux, ou bien, dans certains cas, la matière arénacée remplaça l'argile; car il arrive communément que le sédiment le plus fin, d'abord transporté au plus loin des côtes, se recouvre ensuite d'un sable plus grossier si les eaux de la mer viennent à baisser, ou si la terre ferme,

(1) D'Aubuisson, par Burat, t. II, p. 156.

augmentant en étendue par son propre exhaussement ou par l'accumulation des sédiments sur certains points du littoral, approche davantage des endroits occupés par le limon fin.

Pour se rendre compte d'une autre grande formation, l'Argile d'Oxford, qui surmonte aussi le calcaire corallien, il faut admettre un abaissement semblable à celui qui s'opère de nos jours dans certaines régions corallifères situées entre l'Australie et l'Amérique du Sud. Par suite d'affaissements non moins considérables, l'Océan et les terres adjacentes ont pu, sur une grande étendue en Europe, se trouver dans des conditions très favorables au dépôt d'un autre ensemble de couches argileuses; à ce changement aura succédé une série d'événements de même nature que ceux que nous avons expliqués, suivis eux-mêmes de beaucoup d'autres, et encore dans un ordre semblable. Les mouvements soit ascendants, soit descendants, ont dû se produire avec la même lenteur que ceux qui ont lieu de nos jours dans le Pacifique. Le développement de chaque couche de corail sur une épaisseur de quelques décimètres a demandé des siècles, et pendant ce temps certaines espèces de corps organisés ont pu disparaître de la création pour faire place à d'autres. C'est ainsi que dans chaque groupe de couches, depuis le Lias jusqu'à l'Oolite Supérieure, ont été enfouis quelques fossiles particuliers et caractéristiques.

OOLITE ET LIAS DES ÉTATS-UNIS.

On connaît en Russie et aux États-Unis de grandes étendues de pays où manquent à la fois tous les membres de la série oolitique. Néanmoins, en Virginie, à 20 kilomètres Ouest environ de Richmond, capitale de cet État, on rencontre, dans une dépression du granit, un bassin houiller régulier (fig. 421) que M. Rogers a dès le principe rapporté à l'âge de la partie inférieure du groupe

jurassique. Plus tard, j'ai pu confirmer son opinion par une nombreuse collection de fossiles, plantes, poissons et coquilles, que j'y ai recueillis, et par l'examen attentif du bassin lui-même sur toute son étendue. La surface de ce bassin est

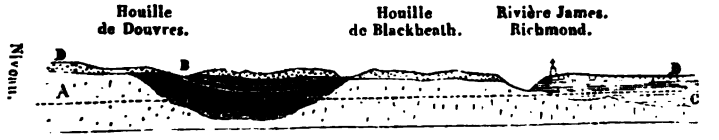


FIG. 421. — Coupe montrant la position géologique du Bassin houiller de la rivière James, ou Bassin de l'Est-Virginie.

A. Granit, gneiss, etc. — B. Étage houiller. — C. Couches tertiaires. D. Drift, ou *alluvium ancien*.

de 40 kilomètres du Nord au Sud, et de 6 à 18 kilomètres de l'Est à l'Ouest. Les plantes y sont principalement des Zamites, Calamites et Equisetum; ces dernières s'y montrent communément en position verticale et sont plus ou moins comprimées. Il est clair qu'elles ont crû sur la place même où on les rencontre aujourd'hui, au sein de couches dures de sable et de limon. Je les ai observées conservant cette position verticale sur des points éloignés de plusieurs kilomètres les uns des autres, parmi des couches les unes supérieures aux lits de houille, et les autres intercalées dans ces mêmes lits. Pour expliquer ce fait, il faut admettre que les schistes argileux et les grès se sont accumulés graduellement pendant un abaissement lent et prolongé de la contrée entière.

Il est à remarquer que l'*Equisetum columnare* de ces roches de Virginie ne paraît pas différer des espèces que l'on rencontre dans les grès oolitiques des environs de Whitby, Yorkshire, en position également verticale. L'une des fougères fossiles de Virginie, le *Pecopteris Whitbyensis* est commune aussi aux oolites du Yorkshire (1). Le terrain houiller de Virginie se compose de grès grossier (*grit*), de grès ordinaire et de schiste argileux tout à fait semblables

(1) Voyez la description du bassin houiller, par l'auteur, et celle des plantes, par Bunbury (*Quart. Geol. Journ.*, vol. III, p. 281).

à ceux des terrains de date plus ancienne ou primaire d'Amérique et d'Europe ; il égale, s'il ne surpasse pas ces derniers, quant à la richesse et à la puissance des lits de houille. Le principal de ces lits a, sur quelques points, 9 à 12 mètres d'épaisseur ; il est formé de houille pure, bitumineuse. Dans un puits de 245 mètres de profondeur des mines de Blackheath, comté de Chesterfield, j'ai vu moi-même une cavité de plus de 12 mètres de haut qui avait été laissée par l'extraction de ce combustible. De gros et forts madriers étayaient la voûte, mais on voyait que celle-ci fléchissait sous le poids de la charge. La houille égale en qualité les meilleures produits de Newcastle ; à l'analyse, elle donne les mêmes proportions de carbone et d'hydrogène. Ce fait est digne de remarque si l'on prend garde que cette houille dérive d'un assemblage de plantes spécifiquement et souvent même génériquement très différentes de celles qui ont fourni à la production de la houille ancienne ou palæozoïque.

Les poissons fossiles des couches de Richmond appartiennent au genre liassique *Tetragonolepis* (*Echinodus*, voy. fig. 411), et à un nouveau genre que j'ai nommé *Dictyopyge*. Les coquilles y sont très rares, comme cela est d'ordinaire

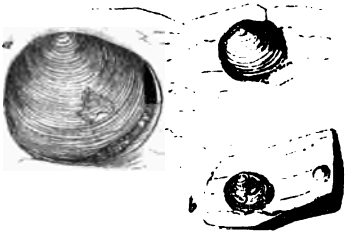


FIG. 422. — *a*. *Posidonomya*, ou *Estheria* ? (1) — *b*. Jeune sujet de la même coquille. Schiste houiller, oolitique, de Richmond, Virginie.

dans tout dépôt qui contient de la houille ; mais on rencontre une espèce de *Posidonomya* en telle profusion dans quelques-

(1) Peut-être, comme le suppose M. Morris (*Geol. Journ.*, vol. III, p. 273), ces délicates bivalves seraient-elles des crustacés appartenant au genre *Estheria* ?

uns des lits du schiste argileux, que ceux-ci se divisent en feuillets comme les lits de schiste micacé (fig. 422).

Dans l'Inde, spécialement à Cutch, on observe une formation que l'on peut exactement rapporter, d'après les coquilles, les coraux et les plantes, au type oolitique et liassique. Là aussi on a extrait de la houille de l'un des membres du groupe.

CHAPITRE XXII.

TRIAS OU GROUPE DU NOUVEAU GRÈS ROUGE.

Différence entre le Nouveau et le Vieux Grès Rouge. — Entre les parties supérieure et inférieure du Nouveau Grès Rouge. — Trias et ses trois divisions. — Développement de ce terrain en Allemagne. — Keuper et ses fossiles. — Muschelkalk et ses fossiles. — Plantes fossiles du Bunter. — Groupe Triassique en Angleterre. — Couche à ossements d'Axmouth et d'Aust. — Grès Rouge du Warwickshire et du Cheshire. — Empreintes de pas de *Cheirotherium*, en Angleterre et en Allemagne. — Ostéologie du *Labyrinthodon*. — Identification de ce Batracien avec le Cheirotherium. — Mammifère Triassique. Origine du Grès Rouge et du Sel gemme. — Hypothèse d'exhalations volcaniques, salines. — Théorie de la précipitation du sel dans des lacs à l'intérieur des terres ou lagunes. — Salure de la mer Rouge. — Nouveau Grès Rouge aux États-Unis. — Empreintes fossiles de pas d'oiseaux et de reptiles, dans la vallée du Connecticut. — Ancienneté du Grès Rouge qui les contient.

Entre le Lias et le terrain Houiller (ou groupe Carbonifère) se présente, dans les comtés du Centre et de l'Ouest en Angleterre, une longue série de limons rouges, de schistes et de grès, à laquelle on a d'abord donné le nom de *formation*

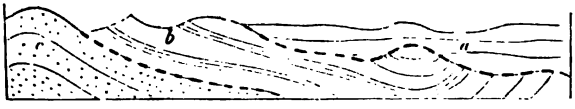


Fig. 423. — *a*. Nouveau Grès Rouge. — *b*. Houille. — *c*. Vieux Grès Rouge.

du Nouveau Grès Rouge pour la distinguer d'autres schistes et grès appelés *Vieux Grès Rouge* (*c*, fig. 423) qui souvent montrent un caractère minéralogique identique, et gisent immédiatement au-dessous du terrain Houiller (*b*).

C'est assez mal à propos qu'on a donné le nom de *Marne Rouge* aux argiles rouges de cette formation, car elles sont tout à fait dépourvues de matière calcaire. De plus, l'absence du carbonate de chaux, la rareté des débris organiques,

en même temps la couleur rouge vif dans la plupart des roches de ce groupe, contrastent d'une manière frappante avec les formations Jurassiques que nous avons décrites précédemment.

Avant que l'on eût bien constaté la différence caractéristique qu'établissent les fossiles entre les parties supérieure et inférieure du Nouveau Grès Rouge en Angleterre, il était utile d'avoir un nom commun pour désigner l'ensemble de toutes les couches comprises entre le Lias et le terrain Houiller, et MM. Conybeare et Buckland (1) proposèrent celui de *Poïkilitique*, de ποικιλος, *poikilos* (varié); à quelques-unes des couches les mieux caractérisées de ce groupe, Werner avait déjà donné l'épithète de *variées*, se fondant sur les taches bigarrées de bleu clair, de vert et de fauve qu'elles présentent sur un fond rouge.

Une expression unique comprenant les Nouveaux Grès Rouges Supérieur et Inférieur, ou groupe Triassique et Permien des classifications modernes, peut avoir encore aujourd'hui son utilité, par exemple si l'on décrit des districts où existent des masses de grès et de schistes rouges se rapportant partiellement aux deux époques, mais que, dans l'absence des fossiles, on ne saurait diviser.

TRIAS OU GROUPE SUPÉRIEUR DU NOUVEAU GRÈS ROUGE.

Le tableau suivant fait voir les sous-divisions généralement adoptées pour le système supérieur, et les noms qu'on leur a donnés en Angleterre et sur le Continent.

		Synonymes	
		Allemands.	Français.
Trias, ou Nouveau Grès Rouge Supérieur.	*a.* Schistes et Grès salifères et gypseux.	Keuper	Marnes irisées.
	b. (Manque en Angleterre)	Muschelkalk. .	Muschelkalk, ou Calcaire coquillier.
	c. Grès et conglomérat quartzeux	Bunter-Sandstein	Grès bigarré.

(1) Buckland, *Bridgew. Treat.*, vol. II, p. 38.

Je décrirai d'abord ce groupe tel qu'il se présente dans le Sud-Ouest et le Nord-Ouest de l'Allemagne, où il est beaucoup plus développé qu'en France et en Angleterre. Les auteurs Allemands lui ont donné le nom de Trias, ou groupe triple, car il se divise en trois formations très distinctes que l'on appelle *Keuper*, *Muschelkalk* et *Bunter-Sandstein*.

Le *Keuper*, la première ou la plus nouvelle de ces formations, a plus de 300 mètres d'épaisseur dans le Wurtemberg; Alberti l'a divisé en grès, gypse et argile schisteuse, charbonneuse (1). Le Keuper a fourni des débris de reptiles appartenant aux genres *Nothosaurus* et *Phytosaurus*, des vestiges de *Labyrinthodon*, des dents de poissons placoïdes, de raies, de *Saurichthys* et de *Gyrolepis* (fig. 433, 434). Les plantes du Keuper montrent généralement beaucoup d'analogie avec celles du Lias et de l'Oolite ; ce sont des fougères, des équisétacées, des cycadées, des conifères et quelques monocotylédonées douteuses. Certaines espèces, par exemple l'*Equisetites columnaris*, sont communes à ce groupe et à l'Oolite.

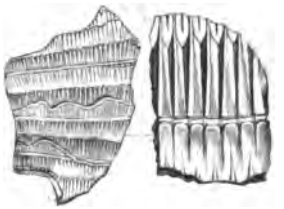


FIG. 424. — *Equisetites columnaris*. (Syn., *Equisetum columnare*.) Fragment de tige, et petite portion de la même, grossie.

Le *Muschelkalk* consiste principalement en un calcaire

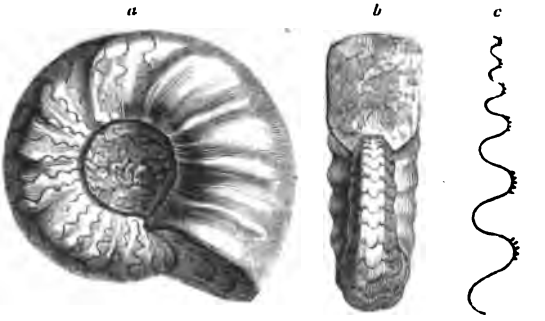


FIG. 425. — *Ceratites nodosus*, Muschelkalk.
a. Vu de côté. — *b*. Vu de face. — *c*. Bord en partie dentelé des cloisons qui séparent les chambres.

(1) *Monogr. des Bunten Sandsteins.*

compacte, grisâtre; mais il renferme sur plusieurs points des lits de dolomie, en même temps que du gypse et du sel gemme. Ce calcaire, qui manque totalement en Angleterre, abonde, comme son nom l'indique, en coquilles fossiles. En

FIG. 426. — *Posidonia minuta*. Goldf. (*Posidonomya minuta*, Bronn.)

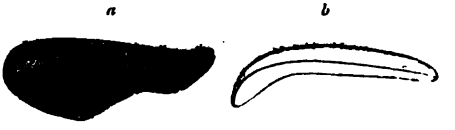


FIG. 427. — *a. Avicula socialis*. - *b*. La même, vue de côté. Coquille caractéristique du Muschelkalk.

fait de céphalopodes, on n'y trouve plus de bélemnites ni d'ammonites à sutures feuilletées comme nous en avons rencontré dans le Lias et l'Oolite; mais on y observe un genre voisin de l'ammonite, le *Ceratites* de M. de Haan, dans le-

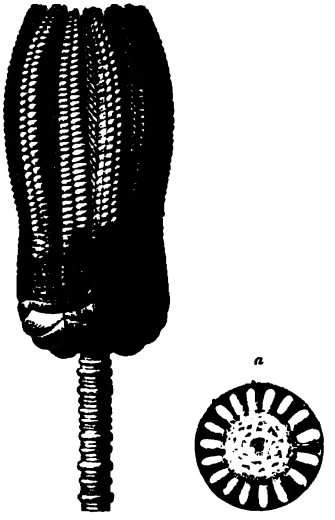


FIG. 428. — *Encrinus liliiformis*, Schlott. (Syn., *E. monilliformis*.) Le corps, les bras et portion de la tige.
a. Coupe de la tige. Muschelkalk

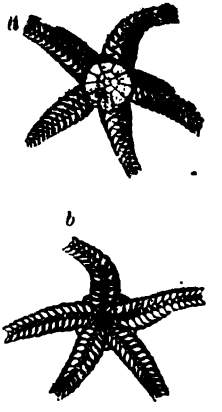


FIG. 429. — *Aspidura loricata*, Agass. *a*, Face supérieure. — *b*. Face inférieure. Muschelkalk.

quel les lobes (*a*, *b*, *c*, fig. 425) se terminent par quelques petites dentelures dirigées à l'intérieur. Parmi les coquilles bivalves abonde la *Posidonia minuta*, Goldf. (*Posidonomya minuta*, Bronn, fig. 426); cette espèce est répandue à

travers toute la série, c'est-à-dire dans le Keuper, le Muschelkalk et le Bunter-Sandstein; l'*Avicula socialis* (fig. 427), coquille non moins largement distribuée, caractérise d'une manière nette le Muschelkalk en Allemagne, en France et en Pologne.

L'abondance des têtes et tiges de l'encrine-lis, *Encrinus liliiformis* (fig. 428), ou *Encrinites moniliformis*, montre la lenteur avec laquelle certains lits de ce calcaire se sont formés au sein des eaux marines. L'étoile de mer, appelée *Aspidura loricata* (fig. 429), est également particulière au Muschelkalk. On a signalé dans la même formation des poissons ganoïdes à queue hétérocerque, du genre *Placodus* (fig. 430).

Bunter-Sandstein. — Cette division consiste en grès diversement colorés, en dolomie et argiles, accompagnés, dans

FIG. 430. — Dent palatine de *Placodus gigas*, Muschelkalk.

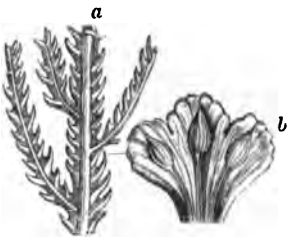


FIG. 431. — *a. Voltzia heterophylla.* (Syn , *Voltzia brevifolia.*)
b. Portion grossie pour montrer la fructification. Soultz-les-Bains, Bunter-Sandstein.

le Hartz principalement, de pisolites calcaires, le tout sur une épaisseur qui dépasse quelquefois 300 mètres. Suivant De Meyer, la présence du *Labyrinthodon* ferait rentrer le grès des Vosges dans le groupe Triassique. A Soultz-les-Bains, près de Strasbourg, sur le versant des Vosges, on a extrait du Bunter un certain nombre de plantes, surtout des conifères du genre éteint *Voltzia*, particulier à cette période ; la fructification même en a été conservée (fig. 431).

Sur trente espèces de fougères, cycadées, conifères et autres plantes que M. Ad. Brongniart a signalées en 1849 dans le *Grès Bigarré* ou Bunter, aucune n'appartient en même temps au Keuper (1). Cette différence, toutefois, peut s'expliquer jusqu'à un certain point par ce fait, que la flore du Bunter n'a guère été étudiée que dans un seul district aux environs de Strasbourg; son caractère particulier pourrait donc être purement local.

Près de Hildburghausen en Saxe, à la surface supérieure des lits d'argile du Bunter, on a observé des empreintes en creux de pas d'un reptile (*Labyrinthodon*), et des empreintes correspondantes en relief à la face inférieure des grès qui les recouvrent. J'aurai l'occasion de revenir sur ce fait; il atteste, aussi bien que les ondulations qui l'accompagnent d'ordinaire et les fendillements des argiles, le dépôt graduel des lits de cette formation au sein d'eaux peu profondes et quelquefois entre le niveau des marées.

GROUPE DU TRIAS EN ANGLETERRE.

En Angleterre, au-dessous du Lias, viennent en stratification concordante des couches de marne ou argile rouges et vertes. Sur quelques points seulement du royaume, particulièrement dans les environs d'Axmouth, Devonshire, dans les falaises de Westburg et d'Aust, Gloucestershire, et sur les bords de la Severn, on rencontre avant ces couches un lit de couleur noire, bien connu sous le nom de *lit à ossements* (*bone-bed*). Il abonde en débris de sauriens et de poissons, et on l'avait d'abord considéré comme le plus inférieur du Lias; mais sir P. Egerton a prouvé qu'il devait être rapporté au Nouveau Grès Rouge Supérieur, car il contient un ensemble de poissons fossiles, les uns particuliers à la formation, les autres bien connus dans le Muschelkalk en Allemagne. Ces poissons appartiennent aux genres *Acrodus*, *Hybodus*, *Gyrolepis* et *Saurichthys*.

(1) Tableau des Genres de Végétaux Fossiles (*Diction. univ.*, 1849).

Parmi les espèces communes au lit à ossements et au Muschelkalk d'Allemagne, nous citerons les *Hybodus plicatilis* (fig. 432), *Saurichthys apicalis* (fig. 433), *Gyrolepis*

Fig. 432. — *Hybodus plicatilis*, dent. Lit à ossements, Aust et Axmouth.

Fig. 433. — *Saurichthys apicalis*, dent, grandeur naturelle, et la même grossie, Axmouth.

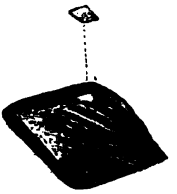


Fig. 434. — *Gyrolepis tenuistriatus*, écaille, grandeur naturelle, et la même grossie. Axmouth.

tenuistriatus (fig. 434) et *G. Albertii*. On trouve aussi dans le lit à ossements des restes de sauriens, et des articulations d'une espèce d'encrine.

Les couches de marne rouge et verte qui suivent le lit à ossements, dans l'ordre descendant, à Axmouth et à Aust, sont dépourvues de débris organiques ; il en est de même, ou à peu près, des lits correspondants dans presque toute l'Angleterre. Mais on a rencontré des fossiles en quelques localités du Worcestershire et du Warwickshire, au sein des grès de la même formation ; parmi ces fossiles, on distingue la *Posidonia minuta*, Gold., déjà mentionnée (fig. 426).

Le membre supérieur du Nouveau Grès Rouge d'Angleterre qui contient cette coquille, mesure, suivant MM. Murchison et Strickland, 180 mètres d'épaisseur, et consiste principalement en marnes et schistes rouges avec une bande de grès. Les deux géologues ont observé au sein des mêmes couches (1) des ichthyodorulites ou épines d'*Hybodus*, des dents de poissons et des empreintes de reptiles ; on y a trouvé aussi, à Grinsell près Shrewsbury, des débris d'un saurien appelé *Rhynchosaurus*.

Dans le Cheshire et le Lancashire, les argiles et schistes

(1) *Geol. Trans.*, 2e sér., vol. V, p. 318, etc.

rouges, gypseux et salifères du Trias ont de 300 à 450 mètres d'épaisseur. En quelques endroits sont intercalées, dans les lits argileux, des masses lenticulaires de sel gemme dont nous expliquerons plus tard l'origine.

La division inférieure qui représente le *Bunter* en Angleterre atteint une puissance de 180 mètres dans les comtés mentionnés ci-dessus. Outre les schistes rouges et verts et les grès rouges, elle comprend certains grès quartzeux, blancs, très friables, dans lesquels, à Allesley Hill près de Coventry, on a rencontré des troncs d'arbres silicifiés. Plusieurs de ces troncs avaient 45 centimètres de diamètre et quelques mètres de long ; ils portaient nettement le caractère de conifères, et l'on y distinguait les anneaux d'accroissement annuel (1). On a découvert aussi des empreintes de pas d'animaux sur les couches de cette formation, dans le Lancashire et le Cheshire. Quelques-unes des plus remarquables ont été observées dans les grès quartzeux blanchâtres de Storton Hill, à quelques kilomètres de Liverpool, sur la rive droite de la Mersey. Elles offrent la plus grande ressemblance avec celles qu'on avait déjà observées dans une roche du Nouveau Grès Rouge Supérieur, au village de Hesseberg près de Hildburghausen en Saxe. Depuis longtemps on avait rapporté celles-ci à un grand quadrupède inconnu que le professeur Kaup a provisoirement nommé *Cheirotherium*, parce que les traces des pieds de derrière et des pieds de devant ont de la ressemblance avec celles que laisserait une main d'homme (fig. 435). Les empreintes à Hesseberg sont, les unes en creux, et les autres en relief ; les premières existent à la surface supérieure des dalles de grès, les dernières à la surface inférieure, et celles-ci se sont formées dans les dépressions sous-jacentes, comme dans des sortes de moules naturels. Les empreintes les plus considérables paraissent avoir été laissées par les pieds de derrière ; elles mesurent

(1) Buckland, *Proc. Geol. Soc.*, vol. II, p. 439. — Murchison et Strickland, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. V, p. 347.

généralement 20 centimètres de long et 12 centimètres de large; l'une d'elles est longue de 30 centimètres. En avant de chacune des plus larges, à une distance régulière de 4 à 5 centimètres, on remarque une petite trace du pied de devant qui mesure environ 10 centimètres de long et 7 centimètres de large. Les pas se suivent par paires; chacun d'eux présente le gros orteil alternativement à droite et à gauche, et compte cinq doigts, dont le premier ou l'orteil est courbé en dedans comme un pouce. Bien que les pieds de devant et de derrière diffèrent beaucoup

FIG. 453. — Une empreinte de pas de *Cheirotherium*. Bunter Sandstein, Saxe. 1/8e de grandeur naturelle.

FIG. 456. — Piste sur une plaque de grès. Hildburghausen en Saxe.

en grosseur, ils sont cependant presque semblables pour la forme.

Des empreintes pareilles, observées plus tard dans une roche du même âge à Storton Hill, existaient sur cinq lits minces d'argile superposés dans une seule carrière, et séparés par des lits de grès. A la surface inférieure de ceux-ci les empreintes étaient en relief et très saillantes; elles fournissaient des modèles exacts du pied, des doigts et des ongles de l'animal qui avait marché sur l'argile. Sur les mêmes surfaces, M. Cunningham a signalé des traces très distinctes de gouttes de pluie.

Comme nulle part encore, en Allemagne ni en Angleterre, on n'a rencontré des os ou des dents au sein de couches identiques avec celles où se trouvent les traces de pas, les anatomistes se sont livrés pendant plusieurs années à diverses conjectures sur la nature des mystérieux animaux qui devaient les avoir produites. Le professeur Kaup inclinait

croire que le quadrupède inconnu devait se rapprocher beaucoup des *Marsupiaux;* en effet, dans le kangouroo, le premier doigt, ou orteil du pied de devant, est oblique aux autres doigts, et la disproportion entre les pieds de devant et ceux de derrière est considérable. D'un autre côté, M. Link a supposé que, sur les quatre espèces d'animaux dont on a observé les traces en Saxe, quelques-uns étaient des *Batraciens* gigantesques. Enfin le docteur Buckland a cru devoir attribuer certaines empreintes à un petit animal à pied palmé, probablement de la famille des crocodiliens.

Cependant différents naturalistes de Liverpool déclarèrent dans leurs rapports sur les carrières de Storton, que, suivant leur opinion, chacun des lits minces d'argile sur lesquels le grès s'était modelé avait constitué successivement au-dessus de l'eau une surface sur laquelle le *Cheirotherium* et d'autres animaux avaient marché, laissant après eux des empreintes; et qu'ensuite chaque lit avait été submergé de manière à former autant de berges successives sur lesquelles les animaux imprimèrent des traces de leur marche. L'existence et le retour des ondulations à différents niveaux dans le grès rouge du Cheshire s'expliquent de la même manière. On a remarqué également que des empreintes aussi profondes et aussi nettes n'avaient pu être tracées que par des animaux marchant sur un sol découvert, car le poids de leur corps n'eût pas été suffisant pour les produire au fond des eaux. Ces animaux étaient donc organisés pour respirer dans l'air.

La question en était à ce point lorsque M. Owen se mit à examiner avec soin les débris de reptiles découverts dans le Trias en Allemagne et en Angleterre. Se fondant sur l'examen microscopique, il établit qu'aucune des dents provenant du grès dit Keuper en Allemagne, ou du grès de Warwick et de Leamington (fig. 437), ne pouvait être attribuée à de véritables sauriens, bien que Jaeger leur eût donné les noms de *Mastodonsaurus* et de *Phytosaurus*. Elles lui pa-

rurent plutôt appartenir à l'ordre des *Batraciens*, et attester ainsi l'existence, dans les temps primitifs, de grenouilles à dimensions gigantesques. Ces dents ont montré une structure très compliquée et très différente de tout ce qu'on observe chez les reptiles vivants ou fossiles; elles se rapprochent cependant beaucoup plus des Ichthyosaures que de tout autre saurien. La section transversale d'une de ces dents offre une série de plis irréguliers ressemblant aux circonvolutions de la surface du cerveau, et, d'après ce caractère, M. Owen a proposé pour ce nouveau genre le nom de *Labyrinthodon*. La

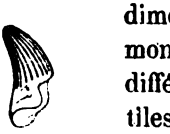


Fig. 437. — Dent de *Labyrinthodon*, grandeur naturelle. Grès de Warwick.

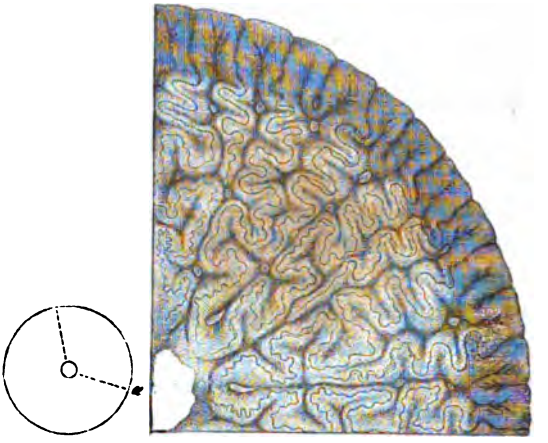


Fig. 438. — Coupe transversale d'une dent de *Labyrinthodon Jaegeri*, Owen (*Mastodonsaurus Jaegeri*, Meyer), grandeur naturelle, et un segment grossi.
a. Cavité d'où partent la pulpe et les rudiments de la dent.

figure 438, qui représente une portion de la dent, est tirée de l'*Odontographie* d'Owen, pl. LXIV, A. La longueur totale de l'organe osseux pouvait être de 9 centimètres, et la largeur, à la base, de 4 centimètres.

Dès qu'il eut constaté par les caractères du crâne, des mâchoires et des dents, l'existence d'un *Batracien* gigantesque à l'époque du Trias ou Nouveau Grès Rouge Supérieur, M. Owen ne tarda pas à distinguer, par l'examen de différents

os tirés de la même formation, trois espèces de *Labyrinthodon*, et à découvrir que, dans ce genre, les extrémités postérieures étaient beaucoup plus grosses que les antérieures. Cette circonstance, associée au fait de l'existence du *Labyrinthodon* à l'époque de la production des empreintes du prétendu *Cheirotherium*, fit faire le premier pas vers l'identification de cet animal avec le Batracien nouvellement découvert. Vers cette époque aussi on remarqua que les empreintes attribuées au *Cheirotherium* ressemblaient beaucoup plus à celles des crapauds qu'à celles d'aucun autre animal vivant; en dernier lieu, il fut constaté que la taille des trois espèces de *Labyrinthodon* correspondait aux trois grandeurs d'empreintes que l'on avait déjà antérieurement rapportées à trois espèces distinctes de *Cheirotherium*. De plus, d'après la structure des fosses nasales dont les ouvertures postérieures étaient situées derrière la bouche au lieu de l'être directement sous les narines antérieures ou externes, on établit avec certitude que le *Labyrinthodon* avait été un reptile à respiration aérienne. L'animal a dû respirer comme les sauriens, et par conséquent laisser sur la plage à sec ces traces de pas qui n'ont pu, nous l'avons dit, être produites par un animal marchant sous l'eau.

Il est vrai que la structure du pied nous manque encore, et que pour la démonstration il nous faudrait un squelette complet. Nous avons cependant des raisons suffisantes pour admettre que le *Cheirotherium* et le *Labyrinthodon* n'étaient qu'un seul et même animal.

En vue de montrer comment ces formidables *Batraciens* ont pu laisser l'empreinte de leurs pas sur le rivage, M. Owen en a essayé une restauration dont voici la copie réduite :

Fig. 459. — L'animal du *Labyrinthodon pachygnathus*, restauré, Owen.

Les seuls ossements de l'espèce qu'on ait trouvés jusqu'à présent sont la tête, le bassin et une partie de l'omoplate ; nous les avons indiquées dans la figure ci-dessus par des lignes plus foncées. On a toute raison de croire que la tête n'était pas nue à l'extérieur, mais qu'elle se trouvait protégée par un écusson osseux. Ce caractère et la présence de fortes dents coniques implantées dans les alvéoles, ainsi que la forme allongée du crâne, ont porté plusieurs anatomistes distingués, tels que MM. Von Meyer et Mantell, à regarder les Labyrinthodons comme plus voisins des crocodiles que des grenouilles. MM. Jaeger et Owen ont pensé qu'il valait mieux les classer parmi les batraciens, en raison de leurs doubles condyles occipitaux et de la position de quelques dents sur le vomer et sur les os palatins. Qu'ils occupent une place intermédiaire entre les deux groupes précédents, c'est ce qui est incontestable ; mais tant que nous n'aurons pas sous les yeux un squelette plus complet, nous ne pourrons les classer définitivement dans l'une ou dans l'autre de ces deux grandes divisions des reptiles.

Mammifères triassiques (*Microlestes antiquus*, Plieninger). — En 1847, le professeur Plieninger de Stuttgart a publié la description de deux dents molaires fossiles se rapportant suivant lui à un quadrupède à sang chaud (1), et qu'il avait recueillies dans une brèche à ossements, entre le Lias et le Keuper, dans le Wurtemberg. Cette découverte curieuse n'avait pas eu tout le retentissement qu'elle méritait. Il est heureux que le docteur Jaeger l'ait rappelée dans son mémoire récent sur les Mammifères Fossiles du Wurtemberg (2).

La figure 440 représente la première dent que l'on a trouvée ; je l'ai empruntée à une gravure publiée en 1847 par le professeur Plieninger ; la figure 441 est un dessin fait sur l'original par M. Hermann von Meyer, qui a été assez bon

(1) *Würtembergisch. Naturvissen Jahreshefte*, 3 Jahr. Stuttgart, 1847.

(2) *Nova Acta Acad. Cæsar. Leopold. nat. cur.*, 1850, p. 902. Pour les figures, voyez *ibid.*, pl. XXI, fig. 14, 15, 16, 17.

pour me l'envoyer; la figure 442 montre une autre molaire plus grosse, empruntée à la planche LXXI, figure 15 du professeur Jaeger.

En 1847, M. Plieninger, considérant la double racine de cette dent, ses dimensions inégales, la forme et le nombre des protubérances qui garnissent les couronnes plates, émit l'opinion que ce devait être une molaire de mammifère et qu'elle appartenait à un animal de proie, probablement à un insectivore; il lui donna donc le nom de *Microlestes*, de μικρος, petit, et de λῃστης, bête de proie. Quelque temps après, ce savant découvrit la seconde dent, toujours en cette même localité de Diegerloch, à environ 3 kilomètres S.-E. de Stuttgart. Quelques-unes des pointes sont brisées, mais elles paraissent avoir été originairement au nombre de six. L'ensemble de ses caractères l'a fait rapporter par Plieninger au même animal, mais comme elle est quatre fois plus grosse que la précédente, elle appartient peut-être à une autre espèce de la même famille. Cette molaire est engagée dans une gangue de grès, tandis que la dent (fig. 440) se trouve isolée. Plusieurs fragments d'os, de structure différente de celle des sauriens et des poissons, et que l'on croit appartenir à des mammifères, étaient enfouis dans la même roche près de cette dent.

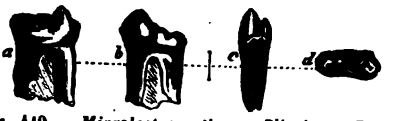


FIG. 440. — *Microlestes antiquus*, Plieninger. Dent molaire grossie. Trias Supérieur, Diegerloch, près de Stuttgart, Wurtemberg.
a. Face interne? — *b*. Face externe? — *c*. Profil. *d*. La couronne.

FIG. 441. — *Microlestes antiquus*, Plien. La même molaire que le n° 440, d'après un dessin de Herman de Meyer.
a. Face interne?
b. La couronne.

FIG. 442. — Molaire de *Microlestes?* Plien.; quatre fois plus grande que celle du n° 440. Trias de Diegerloch, Stuttgart.

En examinant les caractères indiqués par les figures 440, 441, 442, et aussi d'après les descriptions faites par M. Plieninger, M. Waterhouse, du Musée Britannique, a remarqué

que non-seulement la double racine de la dent et sa couronne hérissée de plusieurs pointes ressemblent à celles des mammifères, mais que le *cingulum*, ou bord qui entoure la base de la partie du corps de la dent autrefois exposée en dehors des gencives, distingue l'animal des poissons et des reptiles.

La disposition des six aspérités ou tubercules sur deux rangs (fig. 440) avec un sillon ou dépression qui les sépare, et en même temps la forme oblongue de la dent, doivent, ajoute ce naturaliste, la faire considérer comme une molaire de la mâchoire inférieure. Ces deux dents diffèrent de celles des mammifères de Stonesfield, mais elles ne portent pas de caractère assez tranché pour que l'on puisse dire à quel ordre elles appartiennent.

M. Plieninger m'a envoyé le moule de la plus petite des deux; elle présente bien la double racine particulière aux mammifères, mais M. Owen, à qui je l'ai montrée, n'a pu lui reconnaître d'affinité avec aucun des genres nouveaux ou éteints qui lui étaient connus.

La couche où l'on a rencontré les fossiles que nous venons de signaler est située entre le Lias et le membre supérieur du Trias; les considérations qui vont suivre prouveront qu'elle appartient véritablement à ce dernier terrain.

Dans le Wurtemberg, on distingue deux lits à ossements : l'un, très étendu et très riche en débris de poissons et de reptiles, est placé entre le Muschelkalk et le Keuper; l'autre, plus restreint et moins abondant en fossiles, contient le *Microlestes*, et se trouve superposé au Keuper ou membre supérieur du Trias, et recouvert par le grès du Lias. Ce dernier lit à ossements occupe par conséquent à peu près le même horizon que le *Bone-bed* d'Axmouth et d'Aust-Cliff près de Bristol (Angleterre), lequel renferme, comme l'on sait, des espèces de poissons appartenant aux genres *Saurichthys*, *Hybodus* et *Gyrolepis*, et caractéristiques du Muschelkalk. Ces trois genres sont communs aux deux couches à ossements du Wurtemberg, et l'une des espèces, *Saurichthys Mougeotii*,

appartient à la fois aux deux membres de la brèche ; il en est de même du remarquable reptile nommé *Nothosaurus mirabilis* Le saurien de la famille des Thécodontes, que Von Meyer a nommé *Belodon* est une autre forme triassique qui, à Diegerloch, se trouve associée au *Microlestes*.

Avant la découverte faite par Plieninger, les plus anciens mammifères fossiles connus étaient ceux du schiste de Stonesfield ; on n'a jamais rencontré aucun individu de cette classe dans la Terre à Foulon, ni dans l'Oolite Inférieure, ni dans aucun membre du Lias.

ORIGINE DU GRÈS ROUGE ET DU SEL GEMME.

Nous avons vu qu'en différents points du globe on observe des argiles et grès rouges et bigarrés, appartenant à plusieurs époques géologiques distinctes, associés à du sel gemme, à du gypse, à du calcaire magnésien, tantôt à une seule de ces substances, tantôt à toutes à la fois. Il faut donc presque nécessairement reconnaître une cause générale à une telle coïncidence. N'oublions pas, néanmoins, qu'on rencontre sur des épaisseurs de plusieurs milliers de mètres, et sur de vastes étendues horizontales, des masses puissantes de grès et argiles rouges et bigarrées tout à fait dépourvues de matières salines ou gypseuses. Il existe aussi des dépôts de gypse et de chlorure de sodium, par exemple dans la formation d'argile bleue de Sicile, où l'on n'observe aucune trace de grès rouge ou d'argile rouge.

Pour se rendre compte des dépôts de limon et grès rouges, on n'a qu'à supposer une désagrégation des schistes cristallins ordinaires ou métamorphiques. Dans la partie orientale des Grampians d'Écosse, au nord du Forfarshire, les montagnes de gneiss, de micaschiste et de schiste argileux sont recouvertes par un alluvium dérivant de la décomposition de ces roches ; le détritus est teint par l'oxyde de fer, précisément de la même couleur que le Vieux Grès Rouge des

Lowlands (basses terres) du voisinage. Il suffirait que cet alluvium fût entraîné à la mer ou dans un lac pour qu'il formât des couches de grès ou de limon rouges, absolument semblables aux massifs du *Vieux* et du *Nouveau Grès Rouge* de l'Angleterre, ou aux dépôts tertiaires de l'Auvergne (tome I, p. 316), formations que leurs caractères lithologiques seraient impuissants à faire distinguer. Les galets de gneiss, dans le Grès Rouge Éocène d'Auvergne, portent clairement le caractère des roches dont ils proviennent. La matière colorante rouge a peut-être, comme dans les Grampians, été fournie par la décomposition du Hornblende ou du Mica, qui contiennent de l'oxyde de fer en grande proportion.

Un fait général, dont on n'a pu jusqu'ici rendre compte, c'est qu'on rencontre rarement des débris fossiles dans les roches stratifiées où l'oxyde de fer abonde ; et si l'on trouve des fossiles dans l'Ancien ou le Nouveau Grès Rouge d'Angleterre, c'est ordinairement dans les couches calcaires.

Le gypse et la matière saline qui sont parfois stratifiés avec des argiles et des grès rouges de différents âges, ont été considérés par quelques géologues comme étant d'origine volcanique. Souvent on remarque que, sous la mer et à la surface du sol, dans les régions exposées aux tremblements de terre et aux volcans, à une distance considérable des points actuellement en éruption, il se dégage des vapeurs chargées de soufre, de combinaisons sulfureuses et de sel commun ou chlorure de sodium. Ces *solfatares* sont en réalité des sortes de soupiraux par lesquels tous les produits qui s'échappent, à l'état sublimé, des cratères actifs trouvent un passage de l'intérieur de la terre à sa surface. Il est parfaitement constaté que de semblables émanations gazeuzes et des sources minérales imprégnées des mêmes matières, possédant souvent une chaleur intense, continuent pendant des siècles sans changer de composition ni de température. Mais, avant de décider si ces causes ont pu réellement produire, pendant la suite des temps, des couches de gypse, de sel et de dolomie, il faut

connaître mieux les changements chimiques qui ont lieu aujourd'hui au sein des mers où règne l'action volcanique.

Une autre hypothèse dont l'examen ne serait pas non plus sans intérêt, est celle qui attribue la précipitation du sel à l'évaporation, soit de lacs à l'intérieur des terres, soit de lagunes (*lagoons*) qui communiquaient avec l'Océan.

A Northwich, dans le Cheshire, deux couches salines, en grande partie exemptes de matières terreuses, atteignent une puissance de 30 mètres. La surface supérieure de la couche la plus élevée est très inégale et forme des cônes et des figures irrégulières. Entre les deux masses intervient un lit d'argile dure traversé par des veines de sel. La couche la plus élevée s'amincit vers le Sud-Ouest, et perd 4 mètres de son épaisseur sur un parcours d'un kilomètre et demi (1). L'étendue horizontale de ces masses n'est pas exactement connue, mais on suppose que le terrain qui contient les argiles et grès salifères occupe une surface de plus de 200 kilomètres de côté. M. Ormerod n'évalue l'épaisseur totale du Trias de la même région qu'à 520 mètres environ. Les grès ondulés, ainsi que les empreintes de pas d'animaux, se rencontrent à tant de niveaux différents, que l'on peut affirmer en toute certitude que le terrain dans son étendue totale a subi une dépression lente et graduelle pendant la formation du Grès Rouge. La constatation d'un semblable mouvement complétement indépendant de la présence du sel même, est d'une haute importance pour la théorie dont il s'agit en ce moment.

J'ai publié dans les *Principes de Géologie* (chapitre 27) une carte de ce pays singulier que l'on nomme le Runn de Cutch, voisin du delta de l'Indus, et qui n'a pas moins de 11,000 kilomètres carrés, c'est-à-dire une étendue égale à un quart de l'Irlande. Le pays n'est à proprement parler, ni une mer, ni une terre : il est à sec pendant une partie de l'année, et recouvert d'eau pendant les moussons. Quelques points sont,

(1) Ormerod, *Quart. Geol. Journ.*, 1848, vol. IV, p. 277.

à de longs intervalles, exposés aux inondations du fleuve. Il ne croît pas d'herbe à la surface du sol, mais çà et là on rencontre, sur une épaisseur de 25 millimètres environ, des incrustations de sel qui se sont produites par l'évaporation des eaux de la mer. Certains endroits se sont transformés complétement en terre ferme par suite de tremblements de terre survenus depuis le commencement du siècle actuel. Sur d'autres points, les limites du Runn ont reculé par suite d'affaissements. On ne saurait contester que dans une pareille contrée des bancs de sel ne puissent s'amonceler sur des milliers de kilomètres carrés. L'Océan est pour la production du sel une source aussi inépuisable que le soleil une source de chaleur pour l'évaporation. La seule condition nécessaire pour la formation d'une grande épaisseur de sel sur une surface aussi étendue, serait la continuation du mouvement d'abaissement pendant une période de longue durée, la contrée ne cessant pas de conserver un niveau à peu près horizontal. Le sel pur ne pourrait toutefois se déposer que dans le centre des bassins, sur les points où les vents n'apporteraient point de sable et les courants point de sédiment. Si l'affaissement du terrain venait à s'accélérer au point de laisser un libre accès aux eaux de la mer, tout ce qui pourrait en résulter serait une suspension temporaire de la précipitation du sel ; d'un autre côté, si le terrain venait à se dessécher, des sables ondulés et des empreintes de pas d'animaux se formeraient peut-être là où le sel aurait été primitivement accumulé. L'épaisseur du sel et des lits de boue de sable qui l'accompagnent ne dépendrait donc que d'une question de temps, et n'exigerait que la répétition d'opérations semblables.

M. Hugues Miller, dans une intéressante dissertation sur ce sujet, emprunte aux voyages de Parrot à Ararat, en 1836, un passage relatif aux lacs salés de l'Asie. Dans plusieurs de ces lacs, à l'ouest de la rivière Manech, « l'eau, pendant la saison des grandes chaleurs, se couvre d'une croûte de sel d'environ 25 millimètres d'épaisseur, que l'on enlève avec des

pelles. La cristallisation du sel s'effectue par l'évaporation rapide que détermine la chaleur du soleil, dans une eau déjà sursaturée de chlorure de sodium ; le lac est d'ailleurs si peu profond, que les petits bateaux en touchent le fond et y tracent un sillon en passant, de telle sorte qu'on peut le considérer comme un bassin d'une énorme étendue, dans lequel la salure acquiert facilement le degré de concentration voulue. »

Un autre voyageur, le major Harris, dans son ouvrage intitulé *Hautes Terres de l'Éthiopie* (*Highlands of Ethiopia*), décrit un lac d'eau salée nommé le Bahr Assal. Ce lac, situé près des confins de l'Abyssinie, et qui formait autrefois le prolongement du golfe de Tadjara, en a été séparé depuis soit par une large coulée de lave volcanique, soit par un exhaussement partiel du sol à la suite d'un tremblement de terre. « Ne recevant aucune rivière, exposé sous un climat brûlant aux rayons ardents et continus du soleil, le lac Bahr Assal présente aujourd'hui la forme d'un bassin elliptique, mesurant 11 kilomètres en travers, rempli à moitié d'une eau limpide et d'un bleu d'azur, et, pour l'autre moitié, d'une croûte solide d'un sel blanc comme la neige, résultat de l'évaporation. »

« Si nous supposons, dit M. Miller, qu'au lieu d'une barrière de lave, des barres de sable se fussent accumulées par les ressacs, sur une côte plate composée de sable, pendant que la surface s'abaissait avec lenteur et uniformité, les eaux du dehors auraient pu faire irruption par-dessus les barres, et apporter avec elles une nouvelle quantité de salure après l'épuisement du premier véhicule opéré par l'effet de l'évaporation (1). »

Nous pouvons ajouter que l'imprégnation permanente, par le sel, des eaux d'un vaste bassin peu profond, imprégnation portée au delà des proportions qui sont habituelles à l'Océan, rendrait ce bassin inhabitable aux mollusques et aux poissons :

(1) H. Miller, *First Impressions of England*, 1847, pp. 183, 214.

tel est le cas de la mer Morte. En outre, le chlorure de sodium resterait en excès dans un tel bassin, quand même la mer y ferait de fréquentes irruptions. Si le dépôt salin venait à être submergé, il serait possible, comme nous l'avons vu par ce qui a lieu dans le Runn de Cutch, qu'il fût recouvert par une formation d'eau douce renfermant des débris organiques fluviatiles. On peut expliquer ainsi l'anomalie apparente de couches de sel marin et d'argiles dépourvues de fossiles marins, alternant avec d'autres couches d'origine d'eau douce.

Dans une communication récemment faite à la Société Géographique de Bombay, le docteur G. Buist s'est demandé comment le degré de salure de la mer Rouge ne dépassait pas de plus d'un dixième pour cent celui de l'Océan. Elle ne reçoit des eaux que des détroits de Babelmandeb, et, sur une longueur de côtes de plus de 6400 kilomètres, il n'existe pas un seul ruisseau ou ruisselet se jetant à la mer. Toute la contrée environnante est excessivement stérile et aride; ce sont en grande partie des déserts brûlants.

D'après l'évaporation constatée dans la mer même, M. le docteur Buist a calculé que plus de $2^{m},50$ d'eau pure étaient enlevés annuellement à la surface, ce qui fait probablement la centième partie de son volume total. La mer Rouge doit donc augmenter de 1 pour 100 annuellement en éléments salins; et comme ceux-ci représentent 4 pour 100 en poids, ou 2 $\frac{1}{2}$ pour 100 en volume de la masse entière, si l'on suppose à la mer une profondeur moyenne de 245 mètres, supposition fondée sur toutes les probabilités, il faudra moins de 3000 ans pour sa conversion en masse solide de sel (1). La mer Rouge reçoit-elle de l'Océan, par les détroits de Babelmandeb, une quantité d'eau suffisante pour balancer la perte qui résulte de l'évaporation? Existe-il un courant sous-marin d'eau salée plus pesante qui emporte le sel produit annuellement? S'il n'en est pas ainsi, que devient l'excès de

(1) Buist, *Trans. of Bombay Geogr. Soc.*, 1850, vol. IX, p. 38.

sel? Les marins pourraient peut-être par des recherches à ce sujet mettre le géologue à même de formuler une véritable théorie sur l'origine du sel gemme.

SUR LE NOUVEAU GRÈS ROUGE DE LA VALLÉE DU CONNECTICUT, AUX ÉTATS-UNIS.

Une dépression des roches granitiques ou hypogènes, dans les États de Massachusetts, et de Connecticut, est occupée par des couches de grès rouge, de schiste argileux et de conglomérat qui s'étendent sur une longueur de plus de 240 kilomètres du Nord au Sud, et une largeur de 8 à 16 kilomètres; ces couches plongent à l'Est sous des angles qui varient de 5 à 50 degrés. L'inclinaison maximum de 50 degrés est rare : on ne l'a observée que dans le voisinage de masses de trapp qui ont pénétré dans le grès rouge à l'époque où celui-ci s'accumulait, ou avant que ses portions les plus nouvelles eussent été déposées. J'ai eu l'occasion d'examiner cette série en plusieurs localités, et j'ai pu me convaincre que les roches en ont été formées dans des eaux peu profondes et généralement près du bord, puis que certaines d'entre elles ont été soumises de temps à autre à des mouvements d'élévation, et conséquemment mises à sec, tandis qu'une série nouvelle, composée de sédiments semblables, était en voie de formation.

Des plaques de grès rouge à minces feuillets sont souvent ondulées, et montrent à leur face inférieure les modèles en relief de fissures produites dans les schistes rouges et verts sous-jacents. Ces derniers ont dû se fissurer par le retrait et par la dessiccation, avant que le sable vînt à les recouvrir. Quelques-uns de ceux dont la texture est la plus fine montrent des empreintes de gouttes de pluie; des modèles en relief de celles-ci existent sur les grès argileux qui recouvrent les schistes. Après avoir observé de semblables traces produites par la pluie à une époque qui m'était connue, sur le limon rouge récent de la baie de Fundy, et des modèles en

relief correspondants sur les petits lits de limon desséché que les marées subséquentes avaient apportés (1), je n'ai plus conservé aucun doute sur l'origine d'un certain nombre des anciennes empreintes du Connecticut. J'ai vu aussi sur les mêmes limons de la baie de Fundy des impressions de pas d'oiseaux (*Tringa minuta*) qui courent journellement aux basses eaux sur les bords de cet estuaire; je les ai décrites dans mes *Travels* (Voyages) (2). On rencontre aujourd'hui sur les rives du Connecticut des limons rouges semblables, mais endurcis et comprimés en schistes, lesquels ont conservé fidèlement en creux et en relief les empreintes des pieds de nombreux oiseaux et reptiles qui parcoururent leur surface à l'époque où ils se déposaient, probablement durant la période du Trias.

Suivant M. Hitchcock, on aurait déjà distingué dans ces empreintes plus de trente-deux espèces de bipèdes et douze de quadrupèdes. Sur ce nombre, trente espèces auraient été des oiseaux, quatre des lézards, deux des chéloniens, et six des batraciens. On a rencontré des traces du même genre dans plus de vingt localités différentes, sur une étendue de près de 120 kilomètres du Nord au Sud; elles se reproduisent à travers une succession de couches qui dépasse sur quelques points 300 mètres d'épaisseur, et dont l'accumulation a dû, par conséquent, exiger des milliers d'années (3).

Une certaine méfiance bien naturelle s'attache à tout ce qui concerne les empreintes fossiles; il ne sera peut-être pas hors de propos d'énumérer quelques-uns des faits relatifs à celles que les géologues ont pu admettre avec le plus de certitude. Lorsque pour la première fois, en 1842, je visitai les États-Unis, M. le professeur Hitchcock (4) avait déjà observé dans le district dont j'ai parlé plus de deux mille

(1) *Principes de Géologie*, 9e édition, p. 203.
(2) *Travels in North. Amer.*, vol. II, p. 168.
(3) Hitchcock, *Mem. of Amer. Acad.*, nouv. série, vol. III, p. 129.
(4) *Id.*, *Ibid.*, vol. III, 1848.

empreintes de cette nature, et toutes s'étaient montrées sur la surface supérieure des couches, tandis que les reliefs correspondants existaient à la face inférieure. Si l'on suit une ligne déterminée d'empreintes, on remarque que celles-ci sont de grandeur uniforme et presque également espacées, l'orteil de deux empreintes successives se dirigeant alternativement à droite et à gauche (fig. 443). Une ligne seule indique un bipède ; et l'on remarque généralement alors, de trois en trois empreintes successives, une déviation de la ligne droite semblable à celle qu'on observe dans les traces de pas laissées par les oiseaux. Il existe aussi un étroit rapport entre la distance qui sépare deux empreintes dans une série et la grandeur de ces empreintes ; en d'autres termes, on observe une proportion régulière entre la longueur de l'enjambée et la taille de l'animal qui a marché sur le limon. Lorsque les traces sont petites, l'enjambée peut avoir 12 millimètres ; lorsqu'elles sont gigantesques, dans le cas par exemple où les orteils ont 50 centimètres de long, la distance d'une empreinte à l'autre du même côté est parfois de $1^{m},35$. La plupart des empreintes laissées par les bipèdes sont trifides et montrent le même nombre d'articulations que le pied des oiseaux tridactyles vivants. Or, ces oiseaux ont trois phalanges au doigt interne, quatre au doigt moyen et cinq au doigt extérieur (fig. 443) ; l'empreinte de l'articulation terminale est celle de l'ongle. Les empreintes fossiles montrent toujours ces mêmes nombres lorsque les articulations sont exactement reproduites, et l'on voit dans chaque ligne continue de traces les doigts à trois articulations et à cinq articulations dirigés en dehors alternativement, d'abord d'un côté et puis d'un autre. Dans certains échantillons,

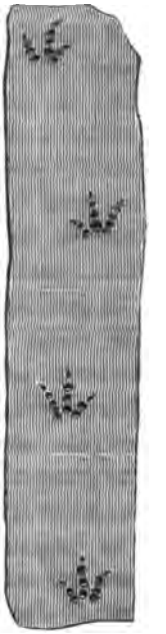


FIG. 443. — Empreintes de pas d'oiseau, Turner's Falls, vallée du Connecticut. (Voyez Dr Dana, *Mem. of Americ. Acad.*, vol. IV, 1849.)

outre la trace des trois doigts de front, on aperçoit le rudiment d'un quatrième doigt se dirigeant en arrière. Rarement la gangue s'est trouvée assez fine pour retenir l'empreinte du tégument ou peau du pied ; mais, dans un échantillon très remarquable découvert par M. le docteur Deane, à Turner's Falls, sur le Connecticut, la conservation s'est trouvée assez parfaite pour que M. Owen ait pu constater qu'il reproduisait la peau de l'autruche et non celle d'un reptile (1). Il faut beaucoup de précautions pour déterminer la couche précise de roche feuilletée sur laquelle l'animal a marché, car ordinairement l'empreinte fait saillie à travers plusieurs feuillets ; et si le feuillet supérieur, celui sur lequel l'animal a marché, est venu à disparaître, la trace d'une ou de plusieurs articulations, ou même d'un doigt entier, peut manquer totalement.

La grandeur de plusieurs des empreintes fossiles dans le grès rouge du Connecticut dépasse tellement celle que laisserait une autruche vivante, que les naturalistes ont d'abord refusé d'y voir des pas d'oiseaux ; mais on a découvert plus tard dans la Nouvelle-Zélande des os et un squelette presque entier de *Dinornis*, ainsi que d'autres oiseaux géants, et leurs dimensions ont dissipé les doutes.

La largeur des traces laissées par le pied d'un animal lourd qui marche sur un limon mou augmente jusqu'à une certaine distance à partir du point où a posé le pied de l'animal. Il faut donc, pour éviter toute exagération, tenir compte plutôt du relief que du creux de l'empreinte. Les reliefs font voir que certains de ces bipèdes fossiles ont eu un pied quatre fois plus large que celui de l'autruche, mais peut-être pas beaucoup plus que celui du *Dinornis*.

On a découvert aussi tout récemment dans un dépôt d'alluvium, à Madagascar, les œufs d'un autre oiseau gigantesque

(1) Cet échantillon a fait partie du musée du Dr Mantell. Il indique un oiseau de taille intermédiaire entre les espèces les plus petites et les plus grandes du Connecticut.

appelé *Æpiornis*, et dont la disparition est probablement l'œuvre de l'homme. L'œuf a six fois la capacité de celui d'une autruche; mais à en juger par les grandes dimensions de l'œuf de l'*Apteryx*, Owen ne pense pas que l'Æpiornis ait surpassé, peut-être même égalé le *Dinornis*.

Parmi les traces attribuées aux bipèdes, on n'en a observé qu'une seule bien distincte de pied à quatre doigts dirigés en avant. Cet exemple a présenté une série de quatre empreintes, mesurant chacune 55 centimètres de long et 30 centimètres de large, avec articulations ressemblant beaucoup à celles des doigts chez les oiseaux. M. Agassiz a pensé qu'elles pouvaient appartenir à un batracien bipède gigantesque. D'autres naturalistes ont appelé l'attention sur ce fait, que certains quadrupèdes placent, en marchant, l'extrémité du membre postérieur précisément sur le point du sol que vient de quitter le pied de devant, et produisent ainsi une seule ligne d'empreintes comme celle d'un bipède. D'un autre côté, M. Waterhouse Hawkins a remarqué qu'en Australie certaines espèces de grenouilles et de lézards ont les deux doigts externes si peu développés et si redressés, qu'ils ne peuvent manquer de laisser sur le limon et le sable des empreintes tridactyles. Un ostéologiste américain, le docteur Leidy, m'a fait observer que le Ptérodactyle s'approchait tellement des oiseaux par la structure et la forme des os des ailes et du tibia, que certains reptiles de cette espèce, recueillis dans la Craie et dans le Weald en Angleterre, ont été pris pour des oiseaux. Or, le pied d'un Ptérodactyle n'aurait-il point pu ressembler aussi à celui d'un oiseau? Quoi qu'il en soit de cette opinion, la plupart des empreintes, en Amérique, s'accordent si exactement pour la forme et la grandeur avec celles de pas d'oiseaux aujourd'hui vivants, spécialement de ceux qui fréquentent le bord des eaux, que nous devons, du moins jusqu'à présent et par les analogies connues, les rapporter plutôt à des bipèdes ailés qu'à des bipèdes dépourvus de plumes.

On n'a pas encore rencontré d'ossements de Ptérodactyle ou

d'oiseaux dans les roches du Connecticut, mais on y trouve de nombreux coprolites. M. le docteur Dana a montré ingénieusement, par l'analyse de ces corps et la détermination des proportions d'acide urique, de phosphate, de carbonate de chaux et de matière organique qu'ils contiennent, que, de même que le guano, ce sont des excréments d'oiseaux plutôt que de reptiles.

Quelques-unes des empreintes de quadrupèdes qui accompagnent celles d'oiseaux sont analogues au *Cheirotherium* d'Europe, et font voir une semblable disproportion entre les pieds de derrière et ceux de devant. D'autres rappellent le *Rhyncosaurus* du Trias d'Angleterre, reptile que certains caractères ostéologiques rattachent à la fois aux Chéloniens et aux oiseaux. Enfin, plusieurs empreintes semblent se rapporter à des tortues.

D'après M. Darwin, « les autruches de l'Amérique du Sud, bien qu'elles se nourrissent habituellement de matières végétales, de racines, d'herbes, etc., s'avancent, lorsque les eaux sont basses, à Bahia Blanca (lat. 39° S.), côte de Buenos Ayres, jusqu'à la plage [de limon alors à sec, et viennent, au dire des Gauchos, s'y nourrir de petits poissons. » Elles pénètrent sans difficulté dans l'eau, et l'on en a vu, dans la baie de San-Blas et à Port-Valdez, en Patagonie, qui nageaient d'île en île (1). Il est donc évident que, de nos jours, dans l'Amérique du Sud, le limon du rivage est parcouru à la fois par des autruches, des alligators, des tortues et des animaux analogues aux grenouilles ; or les empreintes de pas laissées par ces diverses tribus ne diffèrent pas plus les unes des autres que celles observées dans les roches du Connecticut, et qui ont été attribuées aux Oiseaux, aux Sauriens, aux Chéloniens et aux Batraciens.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est pas possible d'établir exactement l'âge du grès rouge et du schiste qui contiennent les empreintes aux États-Unis : on n'a encore

(1) *Journal of Voyage of Beagle*, etc., 2e édition, p. 89, 1845.

trouvé dans le dépôt aucune coquille fossile ni aucune plante assez bien conservée pour être déterminée. Les poissons y sont nombreux et dans un parfait état; ils appartiennent à un type particulier que l'on avait d'abord rapporté au genre *Palæoniscus*, mais dont sir Philippe Egerton a fait depuis, et avec raison, le nouveau genre *Ischypterus*, ainsi nommé d'après la grandeur et la force des rayons de la nageoire dorsale (de ἰσχὺς, force, et πτερὸν, nageoire). Les poissons de ce genre diffèrent des *Palæoniscus*, comme l'a remarqué M. Redfield, en ce que leur colonne vertébrale se prolonge moins dans le lobe supérieur de la queue, ou, pour employer le langage de M. Agassiz, en ce qu'ils sont moins hétérocerques. Leurs dents aussi, suivant Sir P. Egerton, diffèrent de celles du *Palæoniscus* : elles sont beaucoup plus fortes et coniques.

Très probablement les grès qui contiennent ces poissons sont plus anciens que les couches à houille que l'on rencontre près de Richmond en Virginie, et qui remontent au moins à la même époque que l'Oolite et le Lias. L'ancienneté plus grande des roches du Connecticut ne peut être démontrée par la superposition directe, mais la structure générale de la contrée semble autoriser à l'admettre. Cette structure prouve que les roches sont plus nouvelles que les mouvements auxquels la chaîne des Apalaches ou des Alleghanys a dû son relief, et la chaîne même renferme, parmi ses roches disloquées, l'ancienne formation houillère. Nous avons exprimé par le n° 4, dans la coupe (fig. 505), la position discordante du Nouveau Grès Rouge à ornithichnites sur les tranches des roches primaires ou paléozoïques inclinées des Apalaches. L'absence de poissons franchement hétérocerques ne permettrait guère de placer la formation dans l'âge Permien, et l'opinion qui voit dans le Grès Rouge un membre du Trias semble, en somme, être la meilleure que l'on puisse adopter dans l'état actuel de nos connaissances.

CHAPITRE XXIII.

GROUPE PERMIEN OU DU CALCAIRE MAGNÉSIEN.

Les fossiles du Calcaire Magnésien et du Nouveau Grès Rouge Inférieur sont différents de ceux du Trias. — Du mot Permien. — Equivalents anglais et allemands de ce terrain. — Coquilles marines et coraux du Calcaire Magnésien d'Angleterre. — Palæoniscus et autres poissons du schiste marneux. — Sauriens Thécodontes du conglomérat dolomitique de Bristol. — Zechstein et Rothliegendes de Thuringe. — Flore Permienne. — Son affinité générique avec la flore carbonifère. — Psaronites ou fougères arborescentes.

En expliquant, dans le précédent chapitre, l'emploi du mot *Poïkilitique*, j'ai dit qu'en certaines parties de l'Angleterre on avait de la peine à séparer en deux systèmes géologiques distincts les marnes et grès rouges (originairement désignés sous le nom de Nouveau Grès Rouge). Néanmoins, grâce au progrès des recherches, et par une comparaison attentive des roches qui interviennent en Angleterre entre le Lias et le terrain houiller, et de celles qui occupent une position géologique semblable en Allemagne et en Russie, les géologues ont pu établir des divisions dans la formation Poïkilitique. En même temps il a été constaté que la division inférieure se lie plus étroitement, par ses débris fossiles, au groupe carbonifère qu'à celui du Trias. Si donc, on avait à tracer une ligne de démarcation entre les couches fossilifères secondaires et les couches primaires, de même qu'entre les tertiaires et les secondaires, cette ligne passerait à travers la partie moyenne de ce qu'on appelait autrefois le Nouveau Grès Rouge ou goupe Poïkilitique. La moitié inférieure de ce groupe constituerait un terrain Primaire ou Paléozoïque, tandis que sa portion supérieure formerait la base de la série Secondaire. Le membre inférieur, ou Calcaire Magnésien des géologues Anglais, a reçu de Sir R. Murchison, en 1841, le

nom de *Permien*, du gouvernement de Perm en Russie, où ce terrain occupe une surface double de celle de la France, et contient en abondance des fossiles très variés.

Dans sa monographie (1) des fossiles du Permien d'Angleterre, M. King a donné le tableau suivant des six membres de ce système dans le nord de l'Angleterre, avec les formations qu'il admet comme leur correspondant en Thuringe :

Nord de l'Angleterre.	Thuringe.
1. Calcaire cristallin, concrétionné, et calcaire non cristallin.	1. Stinkstein.
2. Calcaire-brèche et pseudo-brèche.	2. Rauchwacke.
3. Calcaire fossilifère.	3. Dolomit, ou Zechstein Supérieur.
4. Calcaire compacte.	4. Zechstein, ou Zechstein Inférieur.
5. Schiste marneux.	5. Mergel-Schiefer, ou Kupferschiefer.
6. Grès inférieurs, de différentes couleurs.	6. Rothliegendes.

Je commencerai par la plus élevée de ces sous-divisions, en renvoyant le lecteur, pour une description plus détaillée des caractères lithologiques de tout le groupe tel qu'il se présente dans le nord de l'Angleterre, à un mémoire important publié par M. Sedgwick en 1835 (2).

Calcaire cristallin ou concrétionné (n° 1). On peut apercevoir cette formation sur la côte de Durham et dans le

FIG. 444. — *Schizodus Schlotheimi*. Geinitz. Calcaire cristallin, Permien.

FIG. 445. — Charnière du *Schizodus truncatus*, King. Permien.

FIG. 446. — *Mytilus septifer*, King. Syn., *Modiola acuminata*, James Sow. Calcaire cristal. Permien.

Yorkshire, entre le flux et le reflux. Ses fossiles caractéristiques sont principalement le *Schizodus Schlotheimi* (fig. 444) et le *Mytilus septifer* (fig. 446).

On rencontre ces coquilles à Hartlepool et à Sunderland,

(1) *Société paléontographique*, 1850, Londres.

(2) *Trans. Geol. Soc.*, Lond., 2e série, vol. III, p. 37.

localités où la roche prend une structure oolitique et bothrioïde. Quelques-uns des lits sont ondulés, et, suivant M. King, l'absence de coraux et le caractère des coquilles indiqueraient que la formation s'est déposée dans une eau peu profonde. Sur quelques points de la côte de Durham, la roche, qui n'est pas cristalline, contient jusqu'à 44 pour 100 de carbonate de magnésie mêlé de carbonate de chaux. Sur d'autres points, — car cette formation varie extrêmement dans sa composition et dans sa structure, — elle consiste principalement en carbonate de chaux et se présente sous forme de masses concrétionnées, globulaires, hémisphériques, dont la grosseur varie depuis celle d'une petite bille à jouer jusqu'à celle d'un boulet de canon, et dont l'intérieur est rayonné du centre à la circonférence. Parfois, des lits terreux et pulvérulents passent à un calcaire compacte ou à une dolomie dure, grenue. La stratification est très irrégulière : assez accentuée sur quelques points, elle est, sur d'autres, interrompue par l'action de concrétions qui ont produit un nouvel arrangement des matériaux de ces roches postérieurement à leur dépôt. On voit des exemples de ces différents passages à Pontefract et à Ripon (Yorkshire).

Le *calcaire-brèche* (n° 2) ne contient pas de fragments de roches étrangères, mais il paraît composé de détritus qui auraient été fournis par le calcaire Permien lui-même, à l'époque de sa consolidation. Quelques-unes des masses anguleuses de la falaise de Tynemouth ont 60 centimètres de diamètre. M. Sedgwick considère cette brèche comme une forme particulière du calcaire précédent n° 1, plutôt que comme une couche régulière sous-jacente. Les fragments en sont anguleux et n'ont jamais été arrondis par l'action des eaux; ils paraissent avoir été cimentés sur place à l'époque même de la formation du terrain. On pourrait donc supposer qu'ils ont été produits par ces mouvements intérieurs de la masse qui déterminèrent la structure concrétionnée. Mais ce point est très obscur, et, si l'on examine le phénomène dans les roches de Marston sur la côte de Durham, on finit par reconnaître

l'impossibilité de se former à ce sujet aucune idée positive. Les calcaires-brèche des Pyrénées semblent présenter sur une petite échelle la plus grande analogie avec les précédents.

Le *calcaire fossilifère* (n° 3) renferme un grand nombre de délicats Bryozoaires; ce serait donc, suivant M. King, une formation d'eau profonde. L'un des Bryozoaires, le *Fenestella retiformis* (fig. 447), est une espèce très variable, et a reçu différents noms. Il atteint quelquefois une taille consi-

FIG. 447. — *a. Fenestella retiformis*, Schlot. sp. Syn., *Gorgonia infundibuliformis*, Goldf.; *Retepora flustracea*, Phillips. — *b*, Portion grossie. Calcaire magnésien, Humbleton Hill, près Sunderland (1).

dérable; son diamètre peut aller jusqu'à 20 centimètres. On trouve abondamment aussi dans le Permien d'Allemagne le même zoophyte, ou plutôt le même mollusque, avec plusieurs autres espèces propres à l'Angleterre.

Diverses coquilles des genres *Productus* (fig. 448) et *Strophalosia* (celui-ci voisin du premier par les dents qui gar-

FIG. 448. — *Productus horridus*, Sow. (compren. le *P. calvus*, Sow.). Sunderland et Durham, calcaire magnésien; Zechstein et Kupferschiefer, Allemagne.

FIG. 449. — *Spirifer undulatus*, Sow. Min. Con. Syn. *Triogonotreta undulata*, King, *Monog.* Calcaire magnésien.

nissent l'intérieur de la charnière), coquilles que l'on ne rencontre pas dans les couches plus nouvelles que le Per-

(1) King, *Monograph*, pl. 2.

mien, abondent dans cette division de la série, au sein des couches du calcaire magnésien jaune ordinaire. Elles sont accompagnées de certaines espèces de *Spirifer* (fig. 449) et autres brachiopodes qui ont tous les caractères de véritables types primaires Paléozoïques. Quelques-unes des coquilles de la même tribu, telles que l'*Athyris Roissyi*, voisine de la *Terebratula*, sont spécifiquement les mêmes que celles des roches carbonifères. Les *Avicula*, *Arca*, *Schizodus* (fig. 444, 445, 446) et autres bivalves lamellibranches abondent dans le même calcaire ; mais les univalves spirales y sont très rares.

Le *Calcaire compacte* (n° 4) se lie intimement au précédent et contient aussi des débris organiques, principalement des Bryozoaires. Il surmonte le *schiste marneux* (n° 5) qui consiste en argiles calcarifères dures, en schiste marneux et en calcaire à lits très minces. Vers East Thickley, comté de Durham, cette division (n° 5) mesure 9 mètres d'épaisseur ; elle a fourni plusieurs beaux échantillons de poissons fossiles appartenant aux *Palæoniscus*, *Pygopterus*, *Cœlacanthus* et *Platysomus*, genres que l'on rencontre tous dans les couches houillères de l'époque carbonifère, et qui probablement ont vécu près des côtes. Mais les espèces du Permien sont particulières, et la plupart identiques avec celles que fournissent les schistes marneux et schistes cuprifères de Thuringe.

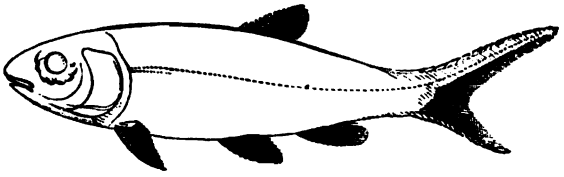


Fig. 450. — Animal restauré d'un poisson du genre *Palæoniscus*, Agass. *Palæothrissum*, Blainv.

Le *Palæoniscus* appartient à la division des *Hétérocerques* de M. Agassiz, poissons dont la queue était inégalement bilobée, comme chez les requins et les esturgeons actuels, et la colonne vertébrale prolongée dans le lobe caudal supérieur

(fig. 451). Les Homocerques, qui comprennent à peu près en totalité les huit mille espèces connues dans la création vivante actuelle, ont la nageoire caudale tantôt simple et

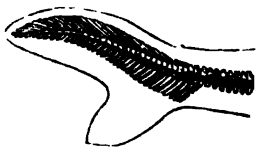


FIG. 451. — Requin. *Hétérocerque.*

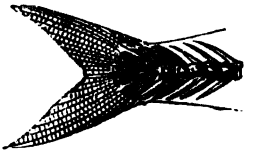


FIG. 452. — Alose (*Clupea*, tribu des Harengs). *Homocerque.*

tantôt également divisée ; mais chez eux, la colonne vertébrale finit brusquement, et ne se prolonge dans aucun des lobes terminaux (fig. 452).

Or, Agassiz a signalé ce fait singulier que la forme Hétérocerque, limitée à un petit nombre de genres dans la faune actuelle, se montre au contraire universelle dans le Calcaire Magnésien et dans toutes les formations plus anciennes. Ce trait caractérise dans l'histoire de la terre les époques primitives où l'organisation des poissons montrait des rapports plus étroits avec celle des Sauriens. Au sein de toutes les couches qui gisent au-dessus du Calcaire Magnésien, les poissons homocerques prédominent.

Sir Philip Egerton a donné, des espèces de poissons caractéristiques du schiste marneux, une description très complète

Écailles de poissons du Calcaire Magnésien.

FIG. 453.

FIG. 454.

FIG. 455.

FIG. 456.

FIG. 453. — *Palæoniscus comptus*, Agass. Ecaille grossie. Schiste marneux.

FIG. 454. — *Palæoniscus elegans*, Sedg. Face inférieure de l'écaille grossie. Schiste marneux.

FIG. 455. — *Palæoniscus g aphyrus*, Agass. Face inférieure de l'écaille grossie. Schiste marneux.

FIG. 456. — *Cœlacanthus granulatus*, Agass. Surface granuleuse de l'écaille grossie. Schiste marneux.

qui se trouve dans la Monographie par le professeur King ; on y voit des figures d'Ichthyolites entiers et bien conservés. Les écailles même ont des caractères si tranchés, qu'elles suffisent habituellement pour indiquer le genre et quelque-

FIG. 457. — *Pygopterus mandibularis*, Agass. Schiste marneux. — *a*, Face externe de l'écaille grossie. — *b*, Face inférieure de l'écaille.

FIG. 458. — *Acrolepis Sedgwickii*, Agass. Face externe de l'écaille grossie, Schiste marneux.

fois jusqu'à l'espèce particulière des poissons qu'elles ont recouverts. Ces écailles sont souvent très répandues à travers les couches; elles peuvent être fort utiles pour la détermination de l'âge d'une roche.

Les *Grès Inférieurs* (n° 6, Tableau, t. II, page 53) qui viennent au-dessous du schiste marneux, consistent en grès et sables séparant le calcaire magnésien du terrain houiller dans les comtés d'York et de Durham ; on a parfois rencontré une marne rouge et du gypse associés à ces couches. M. Sedgwick les a classées avec le calcaire magnésien, bien que leurs rapports avec ce calcaire soient très obscurs ; mais elles sont presque continues avec celui-ci dans le sens de l'étendue. En quelques localités, les plantes qu'elles fournissent paraissent toutes spécifiquement identiques avec celles de la série carbonifère ; si l'identité existe réellement, il est probable qu'elles appartiennent à cette époque, car, d'après les recherches de MM. Murchison et de Verneuil en Russie, et du colonel de Gutbier en Saxe, la véritable flore permienne semble, à bien peu d'exceptions près, distincte de celle du terrain houiller (voyez page 61).

Conglomérat Dolomitique de Bristol. — Aux environs de Bristol, dans le Somersetshire, et sur d'autres points, le long des bords de la Severn, on observe des couches discordantes de Nouveau Grès Rouge Inférieur qui reposent immédiatement sur les couches du terrain houiller, et sont formées

d'un conglomérat appelé *Dolomitique*, parce que les débris de roches anciennes qui le constituent sont cimentés par une pâte rouge ou jaune de dolomie, c'est-à-dire de calcaire magnésien. Ce conglomérat ou brèche (car les fragments empâtés y sont quelquefois anguleux) existe par lambeaux sur les collines qui environnent Bristol; il remplit les creux et irrégularités du calcaire de montagne, et se compose principalement des débris de la roche sur laquelle il repose immédiatement. En tel endroit il contient des fragments de schiste houiller, en tel autre des portions de calcaire de montagne que l'on reconnaît à ses coquilles et à ses zoophytes particuliers. Quelques ossements fracturés et des dents de Sauriens sont aussi dispersés dans certaines portions de la brèche.

Jusqu'à la découverte de l'*Archegosaurus* dans le terrain houiller, ces Sauriens étaient les plus anciens exemples de reptiles fossiles; ils se distinguent tous en ce que leurs dents sont profondément implantées dans l'os de la mâchoire et dans des alvéoles distincts, au lieu d'être soudées comme chez les grenouilles à un simple bourrelet alvéolaire. Dans le conglomérat dolomitique des environs de Bristol, on a signalé

Dents de Sauriens, Conglomérat dolomitique; Redland, près de Bristol.

Fig. 459. — Dent de *Palæosaurus platyodon*. Grandeur naturelle.

Fig. 460. — Dent de *Thecodontosaurus*. Grossissement triple.

des débris de deux genres que le docteur Riley et M. Stutchbury (1) ont appelés *Thecodontosaurus* et *Palæosaurus*. Les dents, chez ces deux reptiles, sont coniques, comprimées, et ont leurs bords finement dentelés (fig. 459 et 460).

(1) *Geol. Trans.*, 2e série, vol. V, p. 349, pl. 29, fig. 2 et 5.

Sir Henry de la Bèche a fait voir que la position isolée de cette brèche fossilifère permettait difficilement de lui assigner une place précise dans la série Poïkilitique (1). Quelques géologues pensent qu'elle pouvait appartenir au Trias; mais, jusqu'à ce qu'on introduise de nouveaux faits, nous maintiendrons notre opinion, qui est conforme à celle des premiers observateurs.

La Russie fournit aussi, dans ses couches d'âge Permien, des Sauriens Thécodontes de différents genres. D'autres Sauriens d'un genre nommé *Protorosaurus* existent dans le Zechstein de Thuringe. Ce dernier genre se lie au Monitor moderne, et son apparition dans une formation primaire ou Paléozoïque est contraire, comme l'a fait observer Owen, à la doctrine du développement progressif, car s'il existait aujourd'hui, il prendrait place en tête de l'ordre des Lacertiens (2).

En Russie, d'après Sir R. Murchison (3), les roches Permiennes se composent de calcaire blanc avec gypse et sel blanc; il s'y rencontre aussi des grès grossiers rouges et verts qui contiennent accidentellement du minerai de cuivre, et enfin des calcaires magnésiens, des marnes et des conglomérats.

Le pays de Mansfeld en Thuringe, peut être considéré comme la terre classique du Nouveau Grès Rouge Inférieur, autrement dit Calcaire Magnésien, ou formation Permienne. Il fournit principalement, d'abord le Zechstein qui correspond à la portion supérieure de la série anglaise, puis le schiste marneux, dont les poissons sont d'espèces identiques avec celles de la couche qui porte le même nom dans le comté de Durham. Ce schiste marneux est fortement imprégné de pyrite cuivreuse pour laquelle on l'exploite sur une grande échelle. C'est parmi les couches supérieures de ce groupe

(1) *Mem. of Geol. Surv. of Great Britain*, vol. I, p. 268.

(2) Owen, *Report on Reptiles*, British Assoc., 7e réunion, 1841, p. 197.

(3) *Russia and the Ural Mountains*, 1845; et *Siluria*, chap. XII, 1854.

que l'on rencontre le calcaire magnésien, le gypse et le sel gemme. A sa base gisent les Rothliegendes, que l'on regarde comme correspondant au Nouveau Grès Rouge Inférieur mentionné ci-dessus, et qui occupent en Angleterre un horizon semblable entre le schiste marneux et le terrain houiller. Le nom local de *Rothliegendes* (rouges-couches), ou *Roth-todt-liegendes* (rouges-mortes-couches), a été donné par les mineurs Allemands à la formation pour sa couleur rouge, et parce que le cuivre *meurt*, disparaît, lorsqu'on arrive à ses roches, qui ne sont point métallifères, et ne sont en réalité qu'un grand dépôt de grès rouge et de conglomérat auxquels sont associés des porphyres, des trapps basaltiques et des amygdaloïdes.

Flore Permienne. — Les récentes recherches du colonel de Gutbier nous ont appris que, dans les roches permiennes de Saxe, on ne compte pas moins de soixante espèces de plantes fossiles, sur lesquelles quarante n'ont point encore

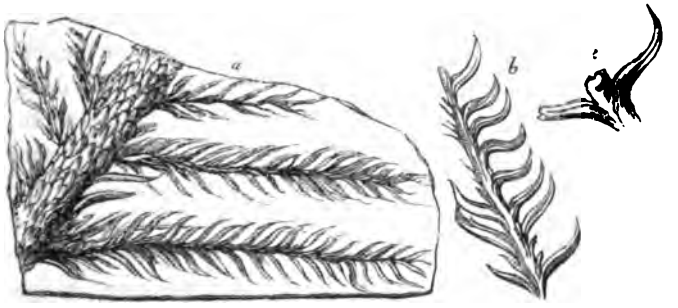


Fig. 461. — *Walchia piniformis*, Sternb. Permien, Saxe (Gutbier, pl. X).
a. Branche. — *b*. Rameau. — *c*. Feuilles grossies.

été rencontrées ailleurs. Parmi celles-ci, les *Calamites gigas*, *Sphenopteris erosa*, et *S. lobata*, se présentent aussi dans le gouvernement de Perm en Russie. Sept autres sont communs au terrain houiller : ce sont en particulier les *Neuropteris Loshii*, *Pecopteris arborescens* et *P. similis*, avec plusieurs espèces de *Walchia* (fig. 461), et un genre de conifères appelé *Lycopodites* par quelques auteurs.

Au nombre des genres qui ont été signalés par le colonel de Gutbier figurent le fruit appelé *Cardiocarpon* (fig. 462), l'*Asterophyllites* et l'*Annularia*, si caractéristiques de la période carbonifère; on y trouve aussi le *Lepidodendron* commun au Permien de Saxe, de Thuringe et de Russie, quoiqu'il ne soit nulle part très abondant. Le *Noeggerathia* (fig. 463), que M. Ad. Brongniart suppose avoir été voisin des *Cycas*, établit un autre lien entre la végétation Permienne et la végétation Carbonifère. On observe également dans ce terrain des Conifères de la division des *Araucaria*, mais ceux-ci se trouvent à la fois dans des roches plus anciennes et plus nouvelles. Les *Sigillaria* et *Stigmaria*, qui impriment une physionomie si tranchée à la période carbonifère, ont manqué jusqu'à présent dans la formation dont il est ici question.

Fig. 462. — *Cardiocarpon Ottonis*, Gutbier. Permien, Saxe. Demi-grandeur.

Fig. 463. — *Noeggerathia cuneifolia*, Ad. Brongniart (1).

Parmi les fossiles remarquables des Rothliegendes, ou partie inférieure du Permien en Saxe et en Bohême, on cite des troncs silicifiés de fougères arborescentes, désignés sous le nom générique de *Psaronius*. Leur écorce était entourée d'une masse épaisse de racines aériennes, qui augmentaient l'épaisseur de la tige normale au point d'en doubler ou même d'en quadrupler le diamètre. Le même fait peut être constaté sur certaines fougères arborescentes qui existent au delà des tropiques, particulièrement à la Nouvelle-Zélande.

On signale aussi des Psaronites dans la portion supérieure

(1) A. Murchison, *Russie*, vol. II, pl. A, fig. 3.

du terrain houiller à Autun, en France, et dans les couches houillères supérieures de l'Ohio aux États-Unis; mais elles sont spécifiquement différentes de celles des Rothliegendes. Elles forment un lien entre la flore Permienne et la portion la plus moderne du groupe carbonifère. En somme, il est évident que les plantes Permiennes se rapprochent bien plus de la flore Carbonifère que de celle du Trias; on peut en dire autant de la faune Permienne.

CHAPITRE XXIV.

LA HOUILLE, OU GROUPE CARBONIFÈRE.

Couches carbonifères dans le sud-ouest de l'Angleterre. — Superposition des couches houillères au Calcaire de Montagne. — Répartition du type dans le nord de l'Angleterre et en Écosse. — Série carbonifère d'Irlande. — Coupe dans la Galles du Sud. — Argiles sous-jacentes, avec Stigmariées. — Flore carbonifère. — Fougères, Lépidodendrons, Equisétacées, Calamites, Astérophyllites, Sigillariées, Stigmariées. — Conifères. — Sternbergiées. — Trigonocarpon. — Du rang occupé par les Conifères dans le règne végétal. — Absence d'Angiospermes. — Houille, son mode de formation. — Arbres fossiles en position verticale. — Houillère de Parkfield. — Bassin houiller de Saint-Étienne. — Arbres inclinés ou nœuds (*snags*). — Forêt fossile dans la Nouvelle-Écosse. — Empreintes de gouttes de pluie. — Explication de la pureté de la houille. — Temps qu'a dû requérir l'accumulation des couches de houille. — Couches d'eau saumâtre et couches marines. — Crustacés de la houille. — Origine du fer carbonaté lithoïde (*Clay-iron-stone*).

Le premier groupe que l'on rencontre dans l'ordre descendant est le Carbonifère, communément appelé *la Houille* (*the Coal*) (1), parce qu'il contient différents lits de ce combustible à l'état plus ou moins pur et en stratification alternante avec les grès, les schistes et les calcaires. La houille proprement dite ne forme guère à elle seule, même en Angleterre et en Belgique où elle abonde, qu'une portion insignifiante de la masse totale. Dans le nord de l'Angleterre, la puissance des couches carbonifères s'élève, d'après l'estimation de M. Phillips, à plus de 900 mètres, tandis que les couches de combustible, au nombre de vingt à trente, ne dépassent pas 25 mètres dans leur ensemble.

La formation carbonifère revêt des caractères différents

(1) Nous ne saurions, dans tous les cas, conserver en français cette expression pour désigner le groupe : elle implique trop exclusivement, dans notre idiome, le combustible charbonneux seul ; nous lui substituerons souvent celle de *Terrain houiller*, plus usitée chez nous. (*Note du traducteur.*)

dans les diverses parties des îles Britanniques. Ordinairement elle se compose de deux membres distincts : 1° l'étage de la houille proprement dite (en anglais *Coal-measures*), d'origine mixte, et comprenant des formations d'eau douce, terrestres et marines, parmi lesquelles se trouvent souvent des lits de houille ; 2° le Calcaire Carbonifère ou Calcaire de Montagne (*Mountain Limestone*), d'origine exclusivement marine et contenant des coraux, des coquilles et des encrines.

Dans la partie Sud-Ouest de la Grande-Bretagne, dans le Somersetshire et la Galles du Sud par exemple, les trois divisions reconnues par les géologues Anglais sont les suivantes :

1. Étage de la houille (*Coal-measures*).	Couches de schiste argileux, de grès et de grit (grès grossier), avec lits minces accidentels de houille, d'une épaisseur de 180 à 3600 mètres.
2. Millstone-grit (grès à moudre).	Grès quartzeux, grossier, passant à un conglomérat, quelquefois employé comme pierre à moudre, avec lits de schiste argileux ; absence ordinaire de houille ; épaisseur dépassant, en certains cas, 180 mètres.
3. Calcaire de montagne ou Carbonifère.	Roche calcaire contenant des coquilles marines et des coraux, dépourvue de houille ; puissance variable, s'élevant quelquefois à 275 mètres.

On peut regarder le Millstone-grit comme un grès houiller, mais à texture plus grossière, et accompagné de schistes argileux dans lesquels on rencontre parfois des plantes houillères. Dans le nord de l'Angleterre, ce grès est traversé de quelques bandes calcaires contenant des peignes, des huîtres et autres coquilles marines, tout comme l'étage normal de la houille, et offrant même quelques lits minces de ce combustible. Je considérerai par conséquent le groupe entier comme consistant en deux divisions seulement, l'Étage de la Houille (*Coal-measures*) et le Calcaire de Montagne. On rencontre cette dernière division en Angleterre, dans les bassins du midi, à la base du système, ou immédiatement en contact avec le Vieux Grès Rouge sous-jacent ; mais, à mesure que l'on s'avance au Nord vers le Yorkshire et le Northumberland, elle commence à alterner avec l'étage proprement dit de la houille, et les deux dépôts forment ensemble une

série de couches qui mesure 350 mètres environ d'épaisseur. A cette formation mixte succède la grande masse du véritable Calcaire de Montagne (1). Plus loin vers le Nord, dans le bassin houiller du Fifeshire en Écosse, le type s'éloigne de plus en plus de celui du midi de l'Angleterre, et l'on observe une intercalation encore plus complète de masses épaisses de calcaire marin dans les grès et schistes qui contiennent la houille.

En Irlande, on trouve à la base du Calcaire de Montagne un système d'argiles schisteuses et de schistes qui présente une épaisseur de plus de 300 mètres, et pour lequel, par ce motif, on serait tenté d'établir une division à part. Au-dessous de ces schistes vient un grès jaune (*Yellow Sandstone*) que l'on considère aussi comme carbonifère en raison de ses fossiles marins, bien qu'il passe au Devonien sous-jacent. Un grès semblable, mais de puissance moindre, occupe une position identique dans le Gloucestershire et dans la Galles du Sud.

M. Griffith adopte, dans sa carte géologique d'Irlande, les sous-divisions suivantes :

	Mètres.
1. Étage de la houille (*Coal-measures*), Supérieur et Inférieur..	305 à 670
2. Millstone-grit.....	115 à 550
3. Calcaire de Montagne, Supérieur, Moyen (ou Calp) et Inférieur.	365 à 1950
4. Schiste carbonifère.....	215 à 365
5. Grès jaune (de Mayo, etc.) avec schistes argileux et calcaire.	120 à 610

ÉTAGE DE LA HOUILLE.

Dans la Galles du Sud, l'étage de la houille atteint une épaisseur de 3600 mètres; toutefois les lits qui le composent paraissent, à l'exception de la houille même, avoir été formés dans une eau de profondeur moyenne, pendant un abaissement lent, mais peut-être intermittent, et dans un pays où les rivières apportaient sans interruption leur tribut

(1) Sedgwick, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. IV; et Phillips, *Geol. of Yorksh.*, part. 2.

de sédiment boueux et de sable. Cette même surface s'était couverte par intervalles de vastes forêts analogues à celles que l'on voit sur les deltas des grandes rivières dans les régions chaudes, et qui seraient exposées à être submergées par les eaux douces ou salées si le sol venait à baisser de quelques décimètres.

D'après M. de la Bèche, dans une coupe près de Swansea (Galles du Sud), des couches qui ont plus de 1000 mètres d'épaisseur totale montrent dix masses principales de grès. L'une de ces masses mesure 150 mètres d'épaisseur, et, toutes ensemble, une puissance de 650. Elles sont séparées par des schistes argileux qui varient de 3 à 15 mètres. Les lits de houille, intercalés dans le système, n'ont généralement que 30 centimètres à $1^m,50$ de haut; l'un d'eux, traversé de deux ou trois bandes d'argile, s'élève à $2^m,75$ (1). Sur d'autres points du même bassin, les schistes argileux dominent comparativement aux grès. Quelques-uns des lits de houille se distinguent par une plus grande étendue horizontale, mais tous reposent sur une argile. Cette argile sous-jacente est une sorte de schiste arénacé auquel on donne quelquefois le nom de *fire-stone* (pierre à feu), et dont on fait des briques réfractaires. L'épaisseur de chacune de ses couches varie de 15 centimètres à 3 mètres, et même davantage; les ouvriers mineurs de la Galles du Sud les regardent comme des membres essentiels de chacun des cent lits de houille que l'on rencontre dans leur bassin. Elles forment, comme ils disent, le *plancher* sur lequel repose la houille; quelques-unes sont mélangées d'une faible proportion de matière charbonneuse, d'autres en sont complétement teintées de noir.

Toutes ces couches d'argile, comme l'a fait remarquer M. Logan, sont caractérisées par un genre végétal fossile appelé *Stigmaria*, que l'on y rencontre à l'exclusion de tout autre. De plus, tandis que les schistes argileux sus-jacents

(1) *Memoirs of Geol. Survey*, vol. I, p. 193.

ou *toits* qui recouvrent la houille, abondent en fougères et en troncs d'arbres aplatis et comprimés, sans aucune stigmariée, ces singulières plantes conservent souvent dans l'argile schisteuse sous-jacente leur forme naturelle, leurs ramifications ordinaires, et envoient à travers le limon, dans toutes les directions, des radicules fines et foliacées que l'on avait d'abord prises pour des feuilles véritables. Plusieurs espèces de *Stigmaria* avaient été depuis longtemps reconnues et décrites avant que l'on eût constaté leur position au-dessous de chaque lit de houille, et leur véritable nature comme racines d'arbres. On les regardait comme des plantes aquatiques, peut-être flottantes, qui auraient étendu librement leurs branches et leurs feuilles à travers la boue liquide, et en auraient été enveloppées.

FLORE CARBONIFÈRE.

Les faits qui précèdent doivent démontrer au lecteur qu'il sera impossible de trouver une théorie satisfaisante sur l'origine de la houille tant que l'on n'aura pas parfaitement saisi la véritable nature des *Stigmaria*. Avant d'exposer ce que l'on sait aujourd'hui sur cette plante et sur d'autres dont la décomposition a contribué à la formation de la houille, il est nécessaire de tracer d'abord une rapide esquisse de toute la flore carbonifère, vaste ensemble de plantes fossiles qui nous sont plus familières qu'aucune de celles qui ont végété antérieurement à l'époque tertiaire. Je dois ajouter avec M. Göppert, qu'on rencontre quelquefois dans la houille même des débris de toutes les familles de plantes qui caractérisent l'étage houiller, circonstance d'un grand intérêt géologique pour la flore de ce terrain.

Fougères. — Le nombre des espèces carbonifères décrites jusqu'à ce jour s'élève, suivant M. Ad. Brongniart, environ à cinq cents. Ce n'est peut-être là qu'une portion de la flore totale, mais ce chiffre suffit pour montrer qu'à cette époque géologique le règne végétal différait extrêmement de ce

qu'il est dans les temps actuels. On est frappé, à la première vue, de la ressemblance d'un grand nombre de fougères avec celles qui vivent maintenant, et de la différence de presque tous les autres fossiles, excepté les conifères, avec notre flore d'aujourd'hui. Pour certaines fougères cependant, pour le *Pecopteris* par exemple (fig. 464), il n'est pas tou-

FIG. 464. — *Pecopteris lonchitica.* (Fl. Foss., 153.)

FIG. 465. — *a. Sphenopteris crenata.* *b.* Portion du même, grossie. (Fl. Foss., 101.)

jours facile de décider si l'on doit ou non les rapporter à des genres différents de ceux qui ont été établis pour la classification des espèces vivantes; quant à la plupart des autres tribus qui furent contemporaines des végétaux précédents, à l'exception toutefois des Conifères, on est souvent embarrassé pour déterminer la famille et même la classe auxquelles elles ont appartenu. Sauf quelques échantillons bien conservés, les fougères de la période carbonifère sont généralement dépourvues des organes de la fructification; à défaut de ce caractère, on a dû former principalement les genres d'après la ramification des frondes et le mode de distribution des feuilles sur la tige. La plupart de ces plantes paraissent

avoir eu les dimensions des fougères ordinaires d'Europe; quelques-unes cependant devaient être arborescentes, celles surtout du groupe appelé *Caulopteris* par Lindley, et le *Psaronius* dont il a déjà été question plus haut.

Fig. 466. — *Caulopteris primæva*, Lindley.

Les fougères arborescentes actuelles appartiennent toutes à un petit nombre de genres d'une même tribu, celle des *Polypodiacées;* chez ces plantes, le tronc est marqué de cicatrices laissées par la chute des feuilles et ressemblant à celles du *Caulopteris* (fig. 466). On a déjà extrait des couches du terrain houiller plus de 250 fougères; déduisit-on de ce nombre les quelques variétés que l'on a pu prendre pour des espèces, en l'absence des caractères fournis par la fructification, le fait de cette multiplicité

Fig. 467. Fig. 468. Fig. 469.

Fougères arborescentes vivantes, de différents genres (Ad. Brong.).

Fig. 467. — Fougère arborescente de l'Ile de Bourbon.
Fig. 468. — *Cyathea glauca*, Maurice.
Fig. 469. — Fougère arborescente du Brésil.

serait déjà bien remarquable, car l'Europe entière ne présente pas aujourd'hui plus de soixante espèces vivantes de la même tribu.

Lepidodendron. — On a rapporté à ce genre environ quarante espèces fossiles du terrain houiller. La tige, de forme

FIG. 470.

FIG. 471.

FIG. 472.

Lepidodendron Sternbergii. Terrain houiller, environs de Newcastle.

FIG. 470. — Tronc ramifié, de 15 mètres de long, supposé celui du *L. Sternbergii*. (Fl. Foss., 203.)

FIG. 471. — Tige ramifiée, avec écorce et feuilles, du *L. Sternbergii*. (Fl. Foss., 4)

FIG. 472. — Portion du même, plus près de la racine ; grandeur naturelle. (*Ibid.*)

cylindrique, est couverte de cicatrices; la ramification est toujours dichotomique (fig. 471). La fructification se com-

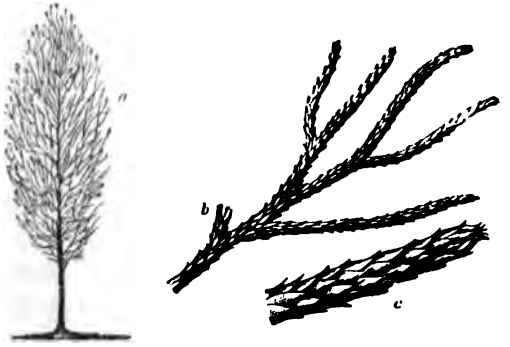


FIG. 473. — *a. Lycopodium densum*; rives de la Tamise (Nouvelle-Zélande). — *b.* Branche de grandeur naturelle. — *c.* Portion grossie.

pose de cônes avec sporanges et spores (fig. 474); cette circonstance a décidé MM. Brongniart et Hooker à considérer ces

plantes comme des *Lycopodiacées*. Plusieurs d'entre elles étaient de grands arbres. Les figures 470 à 472 représentent un *Lepidodendron* fossile haut de 15 mètres, que l'on a trouvé dans la houillère de Jarrow près de Newcastle ; il était couché dans un schiste argileux, parallèlement aux plans de stratification. D'autres fragments découverts dans la même roche font présumer, par le diamètre des cicatrices, que le végétal atteignait des dimensions encore plus considérables. Les Lycopodiacées (*club-mosses*) vivantes, dont on compte environ deux cents espèces, abondent dans les climats tropicaux. Elles rampent généralement à terre, mais quelques-unes croissent en direction verticale, par exemple le *L. densum* de la Nouvelle-Zélande (fig. 473), qui atteint une hauteur d'environ 1 mètre.

Dans les couches carbonifères de Coalbrook Dale, et dans divers autres bassins houillers, on rencontre des corps allongés, cylindriques, que l'on appelle vulgairement cônes fossiles, et que M. Ad. Brongniart a nommés *Lepidostrobus* (fig. 474). Ces corps constituent souvent le noyau de boules

Fig. 474. — *a. Lepidostrobus ornatus*, Brong. Shropshire ; demi-grandeur naturelle. — *b*. Portion d'une coupe montrant les gros sporanges dans leur position naturelle, et chacun fixé à son écaille ou bractée. — *c*. Spores dans les sporanges, grossies beaucoup. (Hooker, *Mem. Geol. Surv.*, vol. II, part. 2, p. 440.)

concrétionnées de fer argileux ; ils sont bien conservés et montrent un axe conique autour duquel se reconnaissent de nombreuses écailles imbriquées, très serrées. L'opinion de M. Brongniart, aujourd'hui généralement adoptée, est que le *Lepidostrobus* représente le fruit du *Lepidodendron*, et il n'est pas rare en effet, à Coalbrook Dale et ailleurs, de rencontrer de ces fruits terminant les branches d'un *Lepidodendron* bien caractérisé.

Équisétacées. — A cette famille appartiennent deux espèces fossiles de la houille, dont l'une, l'*Equisetum infundibuli-*

forme, se rencontre en différentes localités d'Europe et aussi dans la Nouvelle-Écosse; les gaînes en sont régulièrement dentelées, garnies de côtes, et se prolongent régulièrement comme dans les jeunes tiges luxuriantes de l'*E. fluviatile*. Elle était beaucoup plus grande qu'aucune des prêles actuelles. L'*E. giganteum* découvert par de Humboldt et Bonpland dans l'Amérique du Sud atteint environ 1^m,50 sur 25 millimètres de diamètre; plus récemment, Gardner en a observé une au Brésil qui avait 4^m,50 de haut. Enfin, d'après Meyen, l'*E. Bogotense* s'élève à 4 ou 6 mètres.

Calamites — Les plantes fossiles de ce nom ont été rangées d'abord parmi les cryptogames, et considérées par la

FIG. 475. — *Calamites cannæformis*, Schlot. (Fl. Foss., 79.)

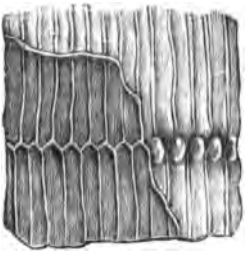


FIG. 476. — *Calamites Suckovii*, Brong.; grandeur naturelle. Commun dans le terrain houiller, sur toute l'Europe.

plupart des botanistes comme des *Équisétacées* gigantesques; en effet, de même que la prêle commune, elles ont une tige creuse, articulée, cannelée extérieurement (fig. 475, 476 et 477).

Il y a bien des années déjà, M. Salter me fit part de son opinion que les calamites telles que les représentaient les paléontologistes étaient dans une position renversée, et que la portion conique, regardée par eux comme le sommet de la tige, n'en était réellement que la racine. Nous avons souvent eu occasion, M. Dawson et moi, d'observer le fait dans

FIG. 477. — Extrémité de la racine d'une Calamite. Nouvelle-Écosse.

la Nouvelle-Écosse; nous avons vu des calamites parfaitement droites dont l'extrémité radicale était dirigée comme le représente la figure 477. Les cicatrices d'où partaient les vaisseaux sont placées vers le haut, et non vers le bas de chaque entre-nœud (1). Il n'est pas douteux que l'échantillon (fig. 475) ne soit l'extrémité inférieure de la plante; j'ai dû par conséquent renverser la position que leur avaient donnée MM. Lindley et Hutton.

Après les découvertes de Germar et Corda, M. Ad. Brongniart a montré dans ses *Genres des Végétaux Fossiles* qu'un grand nombre de Calamites n'ont point appartenu aux Équisétacées, ni probablement à aucune des tribus dépourvues de fleurs. Il pense qu'elles se rapprochaient beaucoup plus des Dicotylédonées gymnospermes. Leur structure présentait, autour d'une moelle centrale, un étui ligneux traversé de rayons médullaires réguliers, et qu'enveloppait à son tour une écorce épaisse. D'après les tiges fossiles qui lui ont offert cette structure, M. Brongniart a fait son genre *Calamodendron*, comprenant plusieurs espèces que Cotta, Petzholdt et Unger rapportent au genre *Calamitea*. Le *Calamodendron* est lisse à l'extérieur; il est muni d'un canal médullaire articulé, et marqué en dehors de stries verticales profondes; en un mot, il réunit tous les caractères des plantes fossiles auxquelles les géologues donnent communément le nom de *Calamites*. Depuis la publication de l'essai de M. Brongniart, M. E.-W. Binney a fait sur le même sujet plusieurs découvertes importantes; d'un autre côté, M. J.-S. Dawes a publié (*Quart. Journ. Geol. Soc.*, Londres) une description plus complète de ce singulier fossile. La manière de voir de ces deux observateurs a été confirmée par M. Williamson de Manchester, qui a bien voulu me communiquer l'échantillon représenté ci-contre (fig. 478); on voit à l'intérieur un canal médullaire dont le caractère se rapporte au Calamodendron, et qui présente à l'extérieur un

(1) Dawson, *Geol. Quart. Journ.*, 1854, vol. X, p. 35.

autre cylindre vertical, cannelé sur sa surface externe, de telle sorte que, dans la même tige, deux calamites s'enveloppent l'une l'autre. Il est parfaitement établi qu'elles ne constituaient toutes deux qu'une seule et même plante; en effet, du pourtour de chaque articulation de la moelle, rayonnent des prolongements qui pénètrent dans la zone ligneuse; on voit dans la figure ci-contre, vers le bas de la cavité, un tour ou cercle complet de ces prolongements; d'autres tours qui suivent sont incomplets; plusieurs des rayons sont encore à leur place primitive, tandis que les autres ont disparu laissant leur point d'insertion marqués par des cicatrices; outre ces prolongements verticillés, on remarque, sur d'autres échantillons, un ensemble de véritables rayons médullaires ordinaires. La zone ligneuse, pénétrée à la fois par les prolongements en question et par les rayons médullaires véritables, est ordinairement à l'état de matière charbonneuse brune, ne conservant plus qu'une certaine tendance à se séparer en parties longitudinales; mais elle montre encore, dans quelques échantillons, son tissu fibreux ressemblant à celui du *Dadoxylon*. Enfin, en dehors de cette zone, vient un autre cylindre qui dut être primitivement une écorce cellulaire épaisse; il égale presque le tiers de la tige en diamètre, et montre extérieurement des articulations et des cannelures semblables à celles de la moelle.

FIG. 478. — Portion de Calamite, près de la base; on voit le cylindre extérieur qui se lie par les vaisseaux rayonnés avec le moule de la moelle. Sa position a été renversée pour éclairer la cavité. Communiqué par le prof. W. C. Williamson.

En somme, par ces découvertes même, il devient de plus en plus difficile de déterminer la véritable famille à laquelle il faut rapporter le plus grand nombre des calamites. L'orga-

nisation intérieure de ces plantes, dit M. Williamson, était toute particulière; si d'un côté elles montraient d'étroites affinités avec les Dicotylédonés gymnospermes, d'un autre côté la disposition de leur tissu différait essentiellement de toutes les formes de gymnospermes connues.

Astérophyllites. — La gracieuse plante que représente la figure 479 serait, d'après M. Brongniart, une tige de *Calamodendron;* sa moelle et ses rayons médullaires annonce-

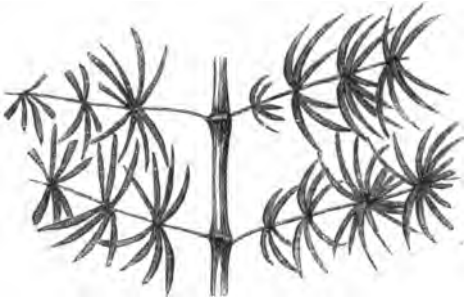


FIG. 479. — *Asterophyllites foliosa.* (Fl. Foss., 25.) Terrain houiller, Newcastle.

raient une plante dicotylédonée. Par la nature de son tissu, elle paraît voisine des gymnogènes et du genre *Sigillaria.* Mais, sous le nom d'*Asterophyllites*, on a compris divers débris de végétaux appartenant probablement à différents genres. En fait, ces débris n'ont pour caractère commun que l'existence de feuilles étroites, verticillées, et offrant une seule nervure. Le docteur Newberry de l'Ohio, a découvert dans la houille de ce pays des tiges fossiles munies vers leur sommet de feuilles cunéiformes semblables à celles du *Sphœnophyllum*, tandis que, plus bas, les feuilles étaient tubuleuses et capillaires, et auraient certainement reçu le nom d'*Asterophyllites* si on les avait trouvées détachées. De ce fait, le docteur a conclu que le *Sphœnophyllum* était une plante aquatique dont les feuilles supérieures flottantes étaient larges et offraient une disposition complexe dans leurs nervures, tandis que les feuilles inférieures ou submergées étaient linéaires et munies d'une seule nervure.

« Une pareille supposition, ajoute-t-il, acquiert beaucoup de probabilité par la longueur extrême et la ténuité des branches de cette plante, dont la nature herbacée semble avoir exigé pour milieu un élément plus dense que l'air (1). »

Sigillaria. — Une grande partie des arbres de la période carbonifère appartiennent à ce genre, dont on connaît environ trente-cinq espèces. La forme et la structure des sigillariées étaient tout à fait particulières, et si on les compare aux types actuels, on les trouve très anomales. M. Ad. Brongniart a d'abord rapporté ces plantes aux fougères, auxquelles elles ressemblent en effet par leurs vaisseaux scalariformes, et, jusqu'à un certain point, par les cicatrices qu'ont laissées les bases des feuilles après leur chute (fig. 480). Mais si elles se rattachent aux cryptogames par quelques caractères, leur organisation intérieure les rapproche beaucoup des Cycadées, et quelques-unes d'entre elles paraissent décidément avoir été pourvues de longues feuilles linéaires totalement différentes de celles des fougères. Les sigillariées s'élevaient parfois jusqu'à la hauteur de 21 mètres; leur tige était cylindrique, régulière, non ramifiée, bien que quelques-unes fussent dichotomes vers le sommet. Cette tige cannelée, et dont le diamètre variait de 30 centimètres à $1^m,50$, se décomposait, à ce qu'il semble, plus rapidement au dedans qu'au dehors, et finissait par devenir creuse tout en gardant sa position verticale; lorsqu'elle venait à tomber, elle s'affaissait par la compression et s'aplatissait. C'est pour cela que l'écorce des deux faces d'aplatissement, écorce aujourd'hui convertie en houille brillante et fragile, forme souvent deux couches horizontales superposées l'une à l'autre, chacune

FIG. 480. — *Sigillaria lævigata*, Brong.

(1) *Annals of Science, Cleveland, Ohio*, 1833, p. 97.

de 12 à 25 millimètres d'épaisseur. Ces mêmes tiges, lorsquelles se trouvent dirigées obliquement ou verticalement par rapport aux plans de stratification, conservent leur forme cylindrique primitive; elles n'ont pas alors subi de compression, et leur canal médullaire s'est rempli de sable qui s'est moulé à l'intérieur.

Le docteur Hooker serait porté à voir dans les *Sigillariées* des Cryptogames beaucoup plus développés qu'aucune des plantes de la même classe qui font partie de la création actuelle. La structure scalariforme de leurs vaisseaux s'accorde parfaitement avec celle des fougères.

Stigmaria. — Ce fossile avait d'abord été pris pour une plante aquatique. Aujourd'hui on a la preuve que c'était une racine de *Sigillaria*. D'après certains caractères botaniques, M. Brongniart soupçonna le premier les liens qui devaient

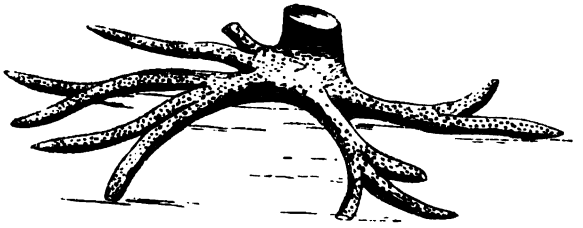


Fig. 481. — *Stigmaria* faisant suite à un tronc de *Sigillaria* (1).

exister entre la racine et la tige. Cette opinion s'est trouvée confirmée par les observations directes de M. Binney dans le bassin houiller du Lancashire, et tout récemment, d'une manière plus certaine encore, par M. Richard Brown, dans sa description des *Stigmariées* contenues dans les argiles du terrain houiller, à l'île du Cap Breton (Nouvelle-Écosse).

Dans l'échantillon que représente la figure 481, les racines s'étendaient sur un rayon de $4^{m},80$; quelques-unes envoyaient des radicules suivant toutes les directions dans l'argile environnante.

(1) M. Brown rapporte le tronc de ce cas au *Lepidodendron*; mais les figures qu'il en a données paraissent indiquer les marques que l'on rencontre ordinairement vers la base des *Sigillaria*.

Les falaises de South Joggins (Nouvelle-Écosse), m'ont fait voir des Sigillariées en position verticale, et je me suis assuré que, de leur extrémité inférieure, partaient comme racines des Stigmariées. Ces racines naissaient au nombre de quatre, puis chacune d'elles se bifurquait de manière à doubler bientôt ce nombre, et plus loin se montrait une nouvelle dichotomie.

Les radicules cylindriques que l'on avait d'abord regardées comme des feuilles, étaient, comme le prouvent aujourd'hui certains échantillons, primitivement fixées à la racine par le remplissage de creux profonds, cylindriques (**Hooker**, *Mem. of. Geol. Surv.*, vol. II). A l'état fossile, on ne distingue que rarement la trace de la forme cylindrique de ces cavités, par suite de l'expansion des tissus environnants. Une fois les radicules détachées, il ne reste plus rien à la surface du Stigmaria que des rangées de tubercules mamelonnés qui ont formé la base des radicules. Ces protubérances indiquent peut-être un point d'articulation à l'extrémité inférieure des mêmes radicules (1).

FIG. 482. — Autre exemplaire de la même espèce montrant à la surface la forme des tubercules.

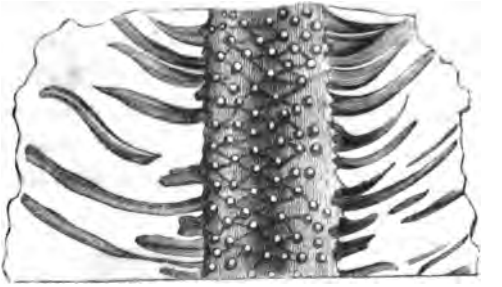


FIG. 483. — *Stigmaria ficoïdes*, Brong. Demi-grandeur naturelle. (Fl. Foss., 52.)

Les tubercules sont disposés en spirale autour de chaque racine, et celle-ci présente toujours un axe médullaire et un système ligneux qui ressemblent beaucoup à ceux des *Sigillaria*, car la structure des vaisseaux est également scalariforme.

Conifères. — Les arbres conifères de période houillère se rapportent à cinq genres ; la structure ligneuse de certains d'entre

(1) D'après une note récente envoyée au traducteur par M. Lyell.

eux les rapproche de la division des Araucarias beaucoup plus que d'aucun des pins ordinaires d'Europe. Leur tronc dépassait quelquefois 13 mètres de haut; tous ou presque tous différaient des Conifères actuels par l'existence d'un épais cylindre médullaire. M. Williamson a prouvé que le fossile végétal du terrain houiller auquel on a donné le nom de *Sternbergia* n'était autre chose que la moelle de ces arbres, ou plutôt le moule de cavités formées par le retrait ou l'absorption partielle de l'axe médullaire originel (fig. 484 et 485). On observe ce type particulier de moelle dans des représentants vivants de familles très différentes de la précédente, par exemple dans le noyer commun et le jasmin blanc. Chez ces végétaux, la moelle se réduit tellement, qu'elle finit par ne plus former qu'un mince cordon dans la cavité médullaire; des plaques minces de moelle s'étendent transversalement et divisent ainsi le trou cylindrique en espaces discoïdaux. Lorsque la matière inorganique a pénétré dans l'intérieur, elle constitue un axe auquel, avant

Fig. 484. — Fragment de bois conifère, *Dadoxylon*, Endlicher, cassé longitudinalement; de Coalbrook Dale. W. C. Williamson (1).

a. Écorce. — *b*. Zone ligneuse, ou fibre (pleurenchyme). — *c*. Moelle. — *d*. Moule du canal médullaire, ou *Sternbergia*.

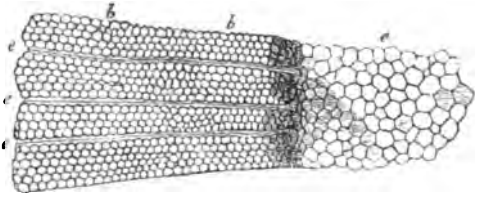


Fig. 485. — Portion grossie du fragment fig. 484; coupe en travers.
c. Moelle. — *b*, *b*. Fibre ligneuse. — *e*, *e*. Rayons médullaires.

que sa véritable nature fût connue, on avait provisoirement donné le nom de *Sternbergia* (*d*, *d*, fig. 484).

(1) Manchester, *Philos. Mem.*, vol. IX, 1851.

Dans les échantillons représentés ici (*b*, fig. 484 et 485), la structure du bois indique des conifères; les espèces appartiennent au genre éteint *Dadoxylon* de Endlicher.

Suivant le docteur Hooker, le fossile appelé *Trigonocarpon* (fig. 486 et 487), que l'on avait d'abord pris pour un fruit de palmier, devrait, comme les *Sternbergia*, être rapporté aux Conifères. Son importance géologique est très grande; il abonde au sein du dépôt houiller, et, dans certaines localités, on peut s'en procurer, pour ainsi dire, par boisseaux. Excepté les argiles sous-jacentes (*underclays*), et le calcaire, il n'est aucune partie de la formation houillère qui ne le fournisse. Le grès, le minerai de fer, les schistes et la houille même en contiennent. M. Binney a trouvé dans le minerai de fer argileux du Lancashire plusieurs échantillons d'après lesquels le docteur Hooker voudrait ranger le *Trigonocarpon* dans cette vaste section des conifères vivants qui portent des fruits solitaires, charnus, et non des cônes. Le Trigonocarpon ressemble beaucoup au fruit du genre *Salisburia* qui se trouve en Chine, et appartient à la tribu des Ifs ou Conifères Taxoïdes. Cinq échantillons fossiles ont présenté quatre téguments consécutifs distincts, et une large cavité intérieure, actuellement remplie de carbonate de chaux et de magnésie, mais probablement occupée autrefois par l'albumen et l'embryon de la graine. La forme générale du fruit fossile à l'état complet de développement, est celle d'un ovoïde allongé; par sa grosseur il dépasse un peu la noisette ordinaire. Le tégument externe était très épais, cellulaire, et sans aucun doute charnu (fig. 487). Ce tégument dépasse seul la graine, et en forme comme l'éperon. La

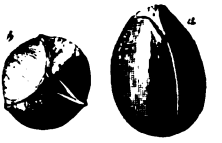


FIG. 486. — *Trigonocarpum ovatum*. Lindley et Hutton. Peel Quarry, Lancashire.

FIG. 487. — *Trigonocarpum olivæformæ*, Lindley; avec son enveloppe charnue. Houillère de Felling, Newcastle.

seconde enveloppe était plus mince, mais dure et marquée de trois côtes. Cette enveloppe, la seule qui subsiste généralement à l'état fossile, a fait donner au fruit le nom de *Trigonocarpon*. Plus intérieurement venaient les troisième et quatrième enveloppes, toutes deux très délicates, et qui ne constituaient peut-être que deux feuillets d'une seule et même membrane.

Du rang de la Flore Carbonifère. — « En résumé, dit le docteur Hooker, on doit rapporter ces fruits à un type hautement développé, montrant une disposition très complexe des organes élémentaires, et une appropriation à des fonctions toutes spéciales; cette complexité de structure et cette spécialisation du but à remplir étaient telles qu'on ne trouve rien à leur comparer dans aucun fruit analogue du règne végétal actuel (1). » M. Williamson fait remarquer aussi, dans son mémoire sur le *Sternbergia*, la structure complexe de ce fossile, et il ajoute qu'à l'époque si reculée du terrain Carbonifère, toutes les formes que l'on observe dans les tissus des végétaux actuels semblent avoir été déjà créées.

Ces observations méritaient d'être signalées, car on s'est demandé si les *Conifères* occupent un rang élevé ou inférieur parmi les plantes phanérogames, et ce point a directement trait à la théorie du développement progressif. Suivant certains botanistes, tous les *Dicotylédonés gymnospermes* seraient inférieurs aux *Angiospermes*. D'autres botanistes, au nombre desquels est le docteur Hooker, contestent cette opinion, parce que les Gymnospermes possèdent tous les caractères types des Dicotylédonés les plus complets en organisation. C'est ainsi que les Conifères portent des fleurs, et se propagent au moyen de graines produites par l'action mutuelle des étamines et des ovules; ils ont des embryons dicotylédonés et polycotylédonés, et leur mode de germination est celui des autres dicotylédonés. Le réceptacle de la graine ou ovaire n'est point clos; mais ce cas se présente aussi dans

(1) *Proceed. of the R. Soc.*, vol. VII, mars 1854, p. 28.

quelques genres d'Angiospermes chez lesquels l'ovaire s'ouvre avant ou après la fécondation, de telle sorte que l'on ne saurait faire valoir ce caractère pour établir une différence fondamentale. Les Conifères sont exogènes et présentent les mêmes dispositions de moelle, bois, écorce et rayons médullaires que les arbres dicotylédonés types. Que la fibre ligneuse particulière qui caractérise les Conifères soit un tissu plus compliqué ou plus simple que les vaisseaux spiraux, c'est là un point controversé. Comme chez certaines plantes, les vaisseaux spiraux se rencontrent dans les jeunes pousses, et se perdent lorsque le végétal est parvenu à un état plus avancé d'accroissement; comme, d'un autre côté, on les rencontre dans plusieurs acrogènes, il ne semble pas qu'ils puissent constituer la preuve d'une organisation supérieure. Enfin, lorsqu'il s'agit du règne végétal, il existe encore bien de l'ambiguïté dans le sens qu'il faut attacher à ces mots : *organisation avancée*, *peu avancée*, et les physiologistes prêtent une valeur très différente au perfectionnement de certains organes et à l'importance relative de leurs fonctions, même lorsque celles-ci ont été très nettement déterminées.

Il suffit aux géologues de savoir que les Conifères fossiles abondent dans les roches les plus anciennes qui contiennent un certain nombre de débris végétaux, et que, si les plantes de cet ordre ne tiennent pas le rang le plus élevé dans l'échelle des végétaux, elles en occupent du moins un assez considérable pour qu'il ne nous soit pas possible d'admettre que la flore carbonifère se compose de plantes d'organisation imparfaite.

Bien que nos connaissances présentes soient vraiment trop incomplètes pour nous permettre de généraliser sur la création végétale entière de cette époque, nous pouvons affirmer, d'après toutes les observations faites jusqu'à présent, que cette création différait beaucoup de toute flore actuelle connue. La rareté comparative des monocotylédonés et des dicotylédonés angiospermes durant l'époque carbonifère paraît bien établie, et l'abondance des Fougères et des Lyco-

podiacées justifie la dénomination de *règne des Acrogènes*, que M. Ad. Brongniart a employée pour désigner les périodes primaires (1). Quant aux Sigillariées et aux Calamites, ces plantes paraissent avoir été distinctes de toutes les tribus aujourd'hui existantes. Les botanistes admettent universellement que l'abondance des fougères implique une atmosphère humide; mais aucune conclusion certaine, dit M. Hooker, ne saurait être déduite de la présence des Conifères seulement, car on rencontre ces végétaux dans les climats chauds et secs aussi bien que dans les climats froids et secs, dans les régions chaudes et humides aussi bien que dans les régions froides et humides. C'est dans la Nouvelle-Zélande que les Conifères sont les plus nombreux; ils constituent $\frac{1}{62}$ de la flore phanérogame, tandis que sur une large étendue, autour du cap de Bonne-Espérance, ils ne représentent pas la $\frac{1}{1600}$ partie de cette même flore. Outre les Conifères, plusieurs espèces de fougères croissent dans la Nouvelle-Zélande; quelques-unes sont arborescentes; on y trouve aussi plusieurs Lycopodes, de telle sorte qu'une forêt de ce pays montrerait une végétation plus analogue à celle de la période Carbonifère qu'aucune autre forêt sur le globe.

Fig. 488. *Antholithes.* Houillère de Felling, Newcastle.

Angiospermes. — On considère comme ayant appartenu à des Monocotylédonés certaines feuilles appelées *Poacites*, lesquelles ressemblent à celles du gazon commun et présentent de minces rayures longitudinales; mais cette détermination laisse des doutes, car quelques-unes de ces feuilles pourraient bien se rapporter au *Lepidodendron*, d'autres à des fougères. On a généralement considéré comme des fleurs en épis les plantes curieuses que Lindley a nommées *Antholithes*, et qui paraissent munies d'un calice et de pétales linéaires (fig. 488). Mais le docteur Hooker pense qu'elles

(1) Pour la terminologie de la classification des plantes, voyez tome I, note, page 413.

représentent plutôt des bourgeons à demi ouverts, avec de jeunes feuilles près de s'ouvrir. Il suppose que ce sont des Conifères, bien qu'il n'ait pu établir leurs rapports avec aucun conifère fossile connu, à moins qu'on ne les compare à des touffes de feuilles de mélèze sortant de leurs écailles.

Houille, son mode de formation. — Arbres verticaux. — Examinons maintenant la manière dont les plantes énumérées ci-dessus ont été enfouies dans les couches, et comment elles ont contribué à produire la houille. En étudiant les végétaux fossiles des bassins houillers d'Allemagne, M. Goeppert a découvert, au sein de la houille pure, des débris de plantes de toutes les familles qui avaient été déjà rencontrées à l'état fossile dans le terrain carbonifère. Plusieurs lits de houille, d'après ce botaniste, sont riches en *Sigillaria*, *Lepidodendron* et *Stigmaria* ; ce dernier fossile serait même tellement abondant en certains endroits, qu'il formerait la masse du combustible. Sur quelques points, les plantes sont presque exclusivement des Calamites, sur d'autres ce sont des Fougères (1). « Quelques-unes des plantes de la houille d'Angleterre, dit le docteur Buckland, ont crû sur les fonds même de sable, de vase ou de boue qui, transformés aujourd'hui en pierre dure et en schiste, constituent les couches qui accompagnent le charbon ; mais d'autres portions de ces mêmes plantes ont été transportées à diverses distances des marais, des savanes et forêts qui les avaient vues naître, et ce sont particulièrement celles que l'on trouve dispersées à travers les schistes, les grès, ou mêlées avec les poissons. » A Balgray, 5 kilomètres nord de Glascow, le même auteur a rencontré, en 1824, plusieurs troncs de grands arbres encore debout, et sur le sol même qui leur avait donné naissance. Cet exemple a été fourni par une carrière de grès de la formation houillère (2).

(1) *Quart. Geol. Journ.*, vol. V, Mem., p. 17.
(2) *Anniv. Address to Geol. Soc.*, 1840.

De 1837 à 1840, on a découvert six arbres fossiles dans le bassin houiller du Lancashire, au point où ce bassin est coupé par le chemin de fer de Bolton. Ces arbres étaient tous en position verticale relativement au plan des couches qui les contenaient, et qui plongeaient de 15 degrés environ au Sud. La distance entre le premier et le dernier d'entre eux dépassait 30 mètres; toutes les racines s'étendaient au travers d'un schiste argileux tendre. Sur la même surface, on voyait un lit de houille, épais de 20 à 25 centimètres, se prolongeant à travers le rail-way, c'est-à-dire jusqu'à 9 mètres au moins. Juste au-dessus des racines, au-dessous du lit de houille, on a trouvé, au milieu de nodules d'argile endurcie, une si grande quantité de *Lepidostrobus variabilis*, qu'on a pu en extraire plus d'un boisseau, principalement des petites ouvertures entourant la base des arbres (voy. la figure 474, t. II, p. 72). Le tronc de chacun de ces arbres se composait extérieurement d'une enveloppe de houille friable, dont l'épaisseur variait de 6 à 18 millimètres, mais qui tombait par petites parties dès qu'on la touchait. L'un d'eux mesurait $4^m,75$ de circonférence à la base, $2^m,25$ au sommet, et $3^m,30$ de longueur. Tous étaient munis de racines fortes et solides, parfois ramifiées, et que l'on pouvait suivre sur une longueur de plusieurs décimètres; peut-être même s'avançaient-elles plus loin encore. M. Hawkshaw, qui a décrit ces fossiles, pense qu'ils ont été originairement des bois pleins, mais qu'ils sont devenus creux avant que la submersion s'en soit emparé; on voit en effet aujourd'hui, dans les forêts tropicales, par exemple dans celles du Venezuela, sur la côte de la mer des Antilles, des arbres dicotylédonés à tige pleine, dont l'intérieur, dès qu'ils sont tombés à terre, se détruit si complétement, qu'il ne reste plus d'eux qu'un cylindre extérieur formé principalement par l'écorce. Cette destruction, ajoute l'auteur, a lieu rapidement, surtout dans les endroits bas et plats, où le sol, épais, fécond, excessivement humide, nourrit une luxuriante végétation de palmiers et autres arbres gigantesques, au-dessous

desquels croissent des bambous, des cannes à sucre et des palmiers plus petits. Ces surfaces sont, à cause de leur niveau peu élevé, très faciles à submerger, et leur riche végétation peut donner naissance à un lit de houille (1).

Dans une vallée profonde qui se trouve près de Capel-Coelbren, et qui part de la portion supérieure de la vallée de Swansea, on a découvert en 1838 quatre tiges de *Sigillaria* traversant verticalement les couches de houille de la Galles du Sud. L'une de ces tiges mesurait 60 centimètres de diamètre sur 4 mètres de hauteur, et toutes se terminaient en bas dans un lit de houille. « Elles paraissent, dit Sir H. de la Bèche, avoir fait partie d'une forêt souterraine à l'époque où se déposaient les couches carbonifères inférieures (2). »

Dans une galerie de mine des environs de Newcastle, on a observé un grand nombre de *Sigillaria* conservant encore la position qu'elles avaient lors de leur accroissement. Sur une étendue de 50 mètres carrés, on en a compté plus de trente, dont quelques-unes avaient de 1^{m},20 à 1^{m},50 de diamètre; leur partie interne était remplacée par du grès, et l'écorce était convertie en houille. Les racines de l'une d'elles s'étendaient dans le schiste argileux, et le tronc, après avoir gardé une direction verticale et sa forme cylindrique normale jusqu'à la hauteur d'environ 3 mètres, était plié à cette hauteur de manière à devenir horizontal. A partir de ce point, il se dirigeait latéralement, et, bien que les cannelures restassent assez distinctes, il s'aplatissait au point de ne plus présenter que quelques centimètres d'épaisseur (3). Ces tiges en position verticale sont connues de nos mineurs sous le nom de *tuyaux de la houille* (*coal-pipes*). L'une d'elles, mesurant 22 mètres de long, a été découverte en 1829 près de Gosforth, à environ 7 kilomètres de Newcastle, dans un grès houiller dont elle traversait les couches. La surface extérieure

(1) Hawkshaw, *Geol. Trans*, 2^{e} série, vol. VI, p. 173, 177, pl. 17.
(2) *Geol. Report on Cornwall, Devon and Somerset*, p. 143.
(3) Lindley et Hutton, *Foss. Fl.*, part. 6, p. 150.

portait, par intervalles, des nœuds indiquant les points de départ des branches. Le ligneux de l'intérieur était converti en carbonate de chaux, et, en coupant transversalement des tranches assez minces pour être transparentes, on pouvait aisément distinguer la structure primitive du végétal (voy. tome I, page 65, fig. 60).

Ces *tuyaux de la houille* sont fort redoutés des mineurs, car presque chaque année, dans les bassins de Bristol, de Newcastle, etc., ils occasionnent de graves accidents. Le cylindre de grès solide qui forme le moule de chacun de ces arbres augmente graduellement de diamètre vers la partie inférieure; dépourvu de branches, il pèse de tout son poids sur sa base sans recevoir aucun appui de l'enveloppe de houille friable qui a remplacé l'écorce. Aussitôt, donc, que la cohésion de cette mince couche extérieure vient à céder, la lourde colonne tombe subitement, dans une direction perpendiculaire ou oblique, du toit de la galerie d'où l'on tire la houille, et blesse ou tue les ouvriers qu'elle rencontre dans sa chute.

Si, au lieu de travailler dans l'obscurité, les mineurs se

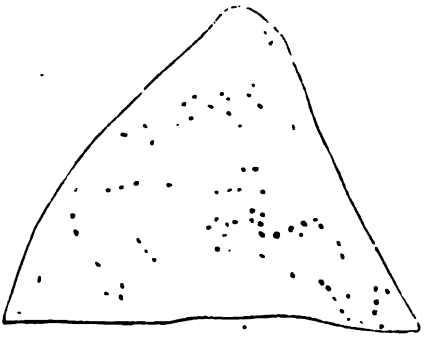


Fig. 489. — Plan d'une forêt fossile, dans la houillère de Parkfield, près de Wolverhampton; il montre la position de 73 arbres sur une surface d'un quart d'acre (1).

fussent habitués à travailler à ciel ouvert, c'est-à-dire à enlever la portion supérieure de chaque couche de houille, de

(1) Beckett et Ick, *Proceed. Geol. Soc.*, vol. IV, p. 287.

manière à exposer au jour les différents sols sur lesquels ont grandi les anciennes forêts, on aurait des notions plus claires sur le mode primitif de croissance. A Parkfield Colliery, près de Wolverhampton, dans le Staffordshire méridional, on a mis à découvert en 1844, sur une surface de quelques centaines de mètres, une couche de houille qui a fourni plus de soixante-treize troncs d'arbres garnis encore de leurs racines et disposés comme le fait voir le plan (fig. 489); quelques-uns de ces troncs mesuraient près de 3 mètres de circonférence. Brisés près de la racine, ils étaient couchés dans toutes les directions, se croisant souvent les uns les autres. L'un d'eux présentait $4^{m},50$, et un autre 9 mètres de long; tous étaient invariablement aplatis, et leur substance, complétement transformée en houille, n'offrait plus qu'une épaisseur de 25 à 50 millimètres. Leurs racines formaient en partie une couche de houille épaisse de 25 centimètres, reposant sur un lit d'argile de 50 millimètres, au-dessous duquel était une seconde forêt superposée à une bande de houille de 60 centimètres à $1^{m},50$. Au-dessous existait une troisième forêt, avec de gros troncs de *Lepidodendron*, *Calamites* et autres arbres.

Dans sa description de la mine du Treuil à Saint-Étienne près Lyon, M. Alex. Brongniart (1) a signalé des couches horizontales de grès micacé traversées verticalement par des troncs de végétaux monocotylédonés ressemblant à des bambous ou à des prêles gigantesques (fig. 490). Depuis la consolidation de la roche, des mouvements de glissement ont détruit la continuité de quelques-unes des tiges, et dispersé les tronçons.

Cette disposition avait été considérée comme indiquant une forêt submergée. Je me suis d'abord refusé à cette conclusion : Je pensais que si tel eût été le cas, on aurait trouvé toutes les racines à un seul et même niveau, et non point irrégulièrement distribuées à travers la masse. Je me figurais que le sol contenant les racines devait être différent du grès

(1) *Annales des Mines*, 1821.

que les troncs traversaient. Mais ayant eu occasion de voir près de Pictou, dans la Nouvelle-Écosse, des Calamites enfouis dans le grès à différentes hauteurs et conservant une position verticale analogue à celle des arbres du Treuil, je me rangerai assez volontiers, aujourd'hui, à l'opinion émise par

FIG. 493. — Coupe montrant la position verticale d'arbres fossiles dans le grès houiller de Saint-Étienne. (Alex. Brongniart.)

M. Brongniart. Les plantes, dans le cas particulier dont il s'agit, auraient végété sur un sol sableux exposé aux inondations, et qui se serait élevé ultérieurement par de nouveaux apports de sédiment, comme cela arrive dans les bas-fonds, près des bords d'une grande rivière, aux points où celle-ci forme un delta. Les arbres qui se plaisent sur un sol marécageux ne continuent pas moins de vivre parce qu'un sol nouveau s'accumule à leur base; d'autres arbres naissent et croissent sur ce sol nouveau, à plusieurs décimètres au-dessus du niveau primitif du marécage, et c'est ainsi que, sur les rives du Mississipi, j'ai vu, aux basses eaux, des coupes de dépôts semblables, dans lesquelles des troncs d'arbres

pourvus de leurs racines en place se montraient à différents niveaux (1).

Lorsque je visitai les carrières du Treuil, les arbres fossiles que représente la figure 490 avaient été enlevés ; mais je pus constater dans le même bassin l'existence d'autres forêts d'arbres verticaux.

En 1830, dans la carrière de Craigleith près d'Edimbourg, on mit à découvert un tronc incliné dont la longueur dépassait 18 mètres ; son diamètre était, vers le sommet, d'environ 17 centimètres, et, près de la base, de 2 mètres sur 60 centimètres. L'écorce était convertie en une croûte mince de la houille la plus pure et la plus fine, ce qui produisait un étrange contraste de couleur avec le grès blanc quartzeux dans lequel l'arbre était enfoui.

La figure ci-contre en représente une longueur d'environ 4 mètres. Les couches que l'on a respectées dans les déblais, sur l'un des côtés du tronc, attestent, par la netteté et la régularité de leur disposition aux points mêmes de contact, qu'elles se sont déposées tranquillement autour de l'arbre, et que celui-ci n'a pu les traverser postérieurement à leur formation, pendant leur état de mollesse. Ces couches se composaient principalement d'un grès siliceux, le plus souvent de couleur blanche ; elles se divisaient en lames si minces, qu'il en fallait de six à quatorze pour faire une épaisseur de 25 millimètres. Quelques-unes de leurs divisions étaient noires et contenaient de la matière charbonneuse ; mais les plus profonds des lits traversés étaient calcaires. On ne pouvait pas supposer que cet

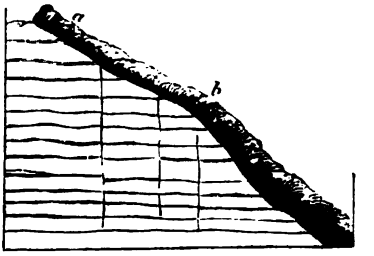


FIG. 491. — Arbre fossile incliné au travers de lits horizontaux de grès, dans la carrière de Craigleith, Édimbourg. L'angle d'inclinaison de *a* à *b* est de 27 degrés.

(1) *Principes de Géologie*, 9e édit., p. 268.

arbre se fût trouvé creux avant son enfouissement, car l'intérieur, malgré sa transformation en matière principalement calcaire, conservait encore la texture ligneuse la plus distincte (1). Bien évidemment la matière pétrifiante ne s'était point introduite par le côté, les couches au travers desquelles le fossile est dirigé n'étant point calcaires. Personne n'ignore que, dans le Mississipi et autres grandes rivières américaines où des milliers d'arbres sont entraînés par le courant, quelques-uns de ceux-ci s'enfoncent, avec leurs racines tournées vers le bas, et se fixent dans le limon. Ainsi placés, on les a comparés à des lances en repos; la proue des embarcations est parfois exposée à butter contre ces sommets pointus, ce qui rend la navigation extrêmement dangereuse. M. Hugh Miller cite dans des carrières près d'Edimbourg quatre énormes troncs qui traversent obliquement les couches sous un angle d'environ 30 dégrés; leur portion inférieure, plus pesante, regarde vers le bas; les racines, à une seule exception près, ont toutes été usées par le frottement. Ces troncs ne mesurent pas moins de 18 à 20 mètres de long sur $1^m,20$ à $1^m,80$ de diamètre.

Des arbres complétement submergés résistent à la décomposition pendant un nombre d'années considérable; on peut en juger par la durée des pilotis de bois qui sont constamment couverts d'eau. L'état de conservation des arbres fossiles n'implique donc pas nécessairement une accumulation rapide des couches de sable, bien qu'il ne faille souvent qu'un très petit nombre d'années pour remplir un lit de rivière ou une certaine étendue de lac ou de marécage.

Nouvelle-Écosse. — Les South Joggins, falaises élevées qui bordent le détroit de Chignecto, l'un des bras de la baie de Fundy dans la Nouvelle-Écosse, nous fournissent par une coupe naturelle un des plus beaux exemples que l'on puisse observer d'une succession de forêts fossiles de la période Carbonifère (2).

(1) Voyez les figures représentant la texture : Witham, *Foss. Veget.*, pl. 3.

(2) Lyell, *Trav. in North Amer.*, vol. II, p. 179; et Dawson, *Geol. Journ.*, n° 37

Dans la coupe ci-contre (fig. 492) que j'ai dessinée en 1842, on voit les lits de *c* à *i* plongeant tous dans la même direction, sous l'angle moyen de 24° S.-S.-O. La hauteur verticale des rochers est de 45 à 60 mètres ; et, entre *d* et *g*, espace sur lequel j'ai observé dix-sept arbres en position verticale, ou, pour parler plus correctement, dirigés perpendiculairement aux plans de stratification, j'ai compté dix-neuf couches de houille, d'une puissance variable de 5 centimètres à 1m,20. Aux basses eaux, on découvre un magnifique développement horizontal de ces couches. L'épaisseur de celles qui viennent affleurer obliquement entre *d* et *g* est d'environ 760 mètres ; les arbres qui les traversent sont surtout des *Sigillaria*, et reparaissent à dix niveaux différents, placés les uns dessus les autres.

M. Logan, qui a visité après moi et examiné avec plus de détail la même ligne de falaises, a remarqué des arbres en position verticale à dix-sept niveaux différents, sur une hauteur de 1376 mètres ; il estime la puissance totale de la formation carbonifère, avec ou sans houille, à plus de 4440 mètres ; dans toute cette masse, les débris organiques marins manquent complétement (1). La longueur habituelle des arbres enfouis que j'ai observés dans cette localité était de 1m,80 à 2m,45 ; mais l'un des troncs mesurait environ 7 mètres de long sur 1m,20 de diamètre : et encore manquait-il d'une portion considérable de la base. Dans aucun cas je n'ai pu découvrir trace du passage des troncs au travers des couches de houille, quelque minces que fussent celles-ci ; la plupart s'y terminaient

Grès Rouge. — *a*. Calcaire. — *b*. Grès Rouge et Marne. — *c*. Pierre à moudre. — *f*. 1m,20 de houille. — *h*, *i*. Schiste avec *Modiola*.

FIG. 492. — Coupe des falaises appelées Joggins, près de Minudie (Nouvelle-Écosse).

(1) *Quart. Geol. Journ.*, vol. II, p. 177.

par leur extrémité inférieure ; quelques-uns seulement avaient leur base fixée dans l'argile ou dans le schiste : aucun, excepté les Calamites, ne tenait dans le grès. Les arbres verticaux paraissent donc en général s'être développés sur les lits de houille. Dans les argiles sous-jacentes, les *Stigmaria* abondaient.

En 1852 nous avons examiné en détail, M. Dawson et moi, une portion de la formation précédente sur une épaisseur de 426 mètres, et spécialement sur les points où les lits de houille étaient plus fréquents ; nous y avons rencontré, à soixante-huit niveaux différents, des traces évidentes de plusieurs sols distincts qui auraient contenu des racines. De même que les lits à charbon qui souvent les recouvrent, ces couches à racines ou sols anciens sont aujourd'hui les parties de la roche les plus faciles à détruire ; les grès et les schistes feuilletés sont plus durs et plus capables de résister à l'action des eaux et du temps. Dans l'origine, sans nul doute, le contraire eut lieu, car dans le delta actuel du Mississipi, les argiles dans lesquelles d'innombrables racines de cyprès et autres arbres de marais se ramifient dans toutes les directions, résistent avec beaucoup plus de force à l'action érosive exercée à la base du delta par la rivière ou la mer que ne le font les lits de sable meuble ou les bandes minces de limon qui ne supportent pas d'arbres.

Ce fait expliquerait comment, grâce aux racines aujourd'hui converties en charbon qui les ont traversées et mises en état de résister à l'action des eaux, les couches de houille ont si souvent échappé à la dénudation et sont restées continues sur de larges surfaces, tandis que d'autres membres de la la formation houillère, demeurés à l'état de sable et de limon sans consistance, ont été facilement emportés.

Quant aux plantes de cette région (Nouvelle-Écosse), elles appartiennent aux mêmes genres, et plusieurs aux mêmes espèces que celles des bassins houillers d'Europe. Dans le grès qui les remplit intérieurement, j'ai souvent observé des feuilles de fougères, et quelquefois des portions de Stigmaria

qui, évidemment, ont pénétré en même temps que le sédiment, après la décadence du tronc, lorsque celui-ci, devenu creux, plongeait encore au-dessous des eaux. Par exemple, l'arbre *a b* (fig. 493), le même que j'ai représenté en *a*, (fig. 494), ou en *c* dans la grande coupe (fig. 492), cet

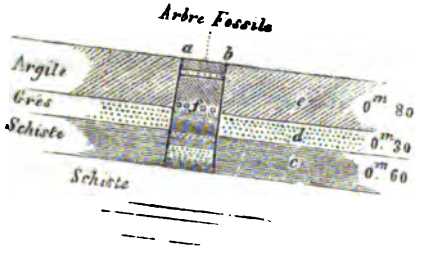


FIG. 493. — Arbre fossile dirigé perpendiculairement aux plans de stratification. Terrain houiller; Nouvelle-Ecosse.

arbre, dis-je, est un tronc creux de 1m,70 de long, traversant différentes couches, et coupé net à son sommet par un lit d'argile de 60 centimètres d'épaisseur, sur lequel repose une couche de houille (*b*, fig. 494) de 30 centimètres. Sur cette couche s'élèvent deux grands arbres (*c* et *d*); à un niveau

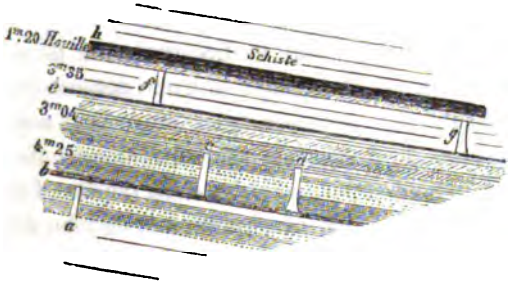


FIG. 494. — Arbres fossiles en position verticale. Terrain houiller; Nouvelle-Écosse.

plus élevé encore, les arbres *f* et *g* reposent sur un lit de houille (*e*), et au-dessus de ces arbres vient une argile supportant 1m,20 de combustible.

L'arbre représenté figure 493 avait pour diamètre (*a b*) au sommet 35 centimètres, et à la base 40 centimètres; la

longueur du tronc mesurait 1m,70. Les couches intérieures offraient une série totalement différente des extérieures. Des trois couches extérieures traversées par l'arbre, l'inférieure était un schiste pourpre et bleu (*c*, fig. 493) de 60 centimètres d'épaisseur; au-dessus venait le grès (*d*) de 30 centimètres, et au-dessus de ce grès l'argile (*e*) de 80 centimètres. A l'intérieur de l'arbre, on remarquait neuf bandes distinctes par leur composition : au bas d'abord un schiste de 10 centimètres, puis un grès de 1 mètre environ, de nouveau un schiste de 10 centimètres, encore un grès de même épaisseur, ensuite un schiste de 25 contimètres, puis une argile *f* avec nodules de fer carbonaté, de 5 centimètres; après cette couche, une argile pure, de 60 centimètres, suivie d'un grès de 7 centimètres, et enfin une argile de 10 centimètres. La coupe (fig. 493) dirigée suivant la pente extérieure du rocher n'était point exactement perpendiculaire à l'axe de l'arbre; de là probablement la brusque terminaison apparente du tronc vers sa base, sans souche ni racines.

Dans cet exemple, les couches intérieures de l'arbre sont plus nombreuses que les couches extérieures; mais on rencontre bien souvent dans les terrains houillers un cylindre de grès pur, autrefois moulé dans l'intérieur d'un arbre, et qui traverse une longue suite de lits alternatifs de schistes et de grès qui jadis enveloppèrent le tronc debout au sein des eaux. Ce défaut de correspondance entre les matières du dedans et celles du dehors est une conséquence toute naturelle de la non-contemporanéité des deux dépôts; l'enfouissement de l'arbre a précédé nécessairement de bien des années la décomposition de son intérieur.

Diverses circonstances prouvent que les couches enveloppantes ont mis plusieurs années à s'accumuler : certains grès qui entourent les troncs verticaux de *Sigillariées* supportent à différents niveaux des racines et des tiges de Calamites; or les Calamites n'ont commencé à croître qu'après l'enfouissement partiel des Sigillariées.

L'absence générale de structure à l'intérieur des grands

arbres fossiles du terrain Houiller indique, entre l'écorce et le bois et au profit de la première, une différence de durée que l'on peut encore observer chez des arbres actuels. Dans les forêts marécageuses de la Nouvelle-Écosse, le Bouleau à canot (*Betula papyracea*) possède une écorce si dure, que sa forme extérieure présente souvent une apparence tout à fait saine, tandis qu'il n'existe en réalité qu'un cylindre vide dont tout le ligneux a disparu par la décomposition. Dans ces circonstances, la portion submergée ne tarde pas à se remplir de limon.

D'après M. Dawson, l'un des arbres fossiles en position verticale des South Joggins présentait la structure des Araucarias; certains Conifères de la période houillère ont donc crû dans les mêmes étangs que les Sigillariées, comme on voit aujourd'hui des Cyprès, par exemple le *Taxodium distichum*, abonder dans les marécages de la Louisiane, même assez près de la mer.

Les forêts carbonifères ensevelies au-dessous du niveau des hautes marées nous fournissent une autre preuve de la lenteur avec laquelle s'est opéré l'enfouissement; ce sont les Spirorbes ou Serpules (fig. 497) que l'on trouve fixées à l'extérieur du tronc ou de la tige d'arbres verticaux, et quelquefois même à l'intérieur de l'écorce. Ainsi recouverts d'innombrables annélides marins, ces arbres me rappellent de grands roseaux (*Arundinaria macrosperma*) que j'ai vus en 1846 à l'extrémité du delta du Mississipi, et qui, bien que d'eau douce, étaient couverts de balanes. Ces roseaux, sur une étendue de plusieurs hectares, avaient péri par l'envahissement des eaux salées, à une époque où la mer s'était un instant avancée de nouveau sur l'espace précédemment enlevé par la rivière. Leurs tiges restaient encore debout dans la vase molle, montrant ainsi comment des Sigillariées creuses, mais supportées par de fortes racines, avaient pu résister à l'irruption de la mer.

Dans la baie de Fundy, les hautes marées, qui s'élèvent à plus de 18 mètres, minent et entraînent sans discontinuité la

LIBRARY OF THE UNIVERSITY

base des falaises; elles mettent ainsi à découvert, tous les trois ou quatre ans, de nouveaux arbres fossiles en position verticale. Il est bien connu que ces arbres sont répandus sur un espace de 3 ou 4 kilomètres du Nord au Sud, et plus du double de l'Est à l'Ouest; on les voit contre les berges des ruisseaux qui coupent le bassin houiller.

Au cap Breton, M. Richard Brown a constaté que le bassin houiller de Sidney présentait une épaisseur de 560 mètres, non compris le millstone-grit sous-jacent; il a déterminé les différents niveaux auxquels on rencontre des arbres en position verticale, *Sigillaria*, *Lepidodendron*, *Calamites*, et autres genres. Sur une seule étendue de 24 mètres, il a compté huit de ces troncs, munis encore de leurs racines et de leurs radicules, et disposés au même niveau. Des bandes de houille d'une épaisseur variable alternent dans la série stratifiée. On y rencontre une succession de quarante et un lits d'argile remplis de racines et de *Stigmaria* dans leur position normale; seize lits d'arbres maintenus verticalement reviennent à d'autres niveaux; on ne saurait donc contester l'existence primitive, dans ce bassin houiller, d'au moins cinquante-neuf forêts fossiles situées l'une au-dessus de l'autre (1).

Les coquilles fossiles du cap Breton, et celles de la Nouvelle-Écosse (tome II, p. 93), qui sont principalement des *Cypris*, *Unio* (?), *Modiola*, et un annélide appartenant probablement au genre *Spirorbis* (fig. 498), semblent indiquer une eau saumâtre; mais nous ne serions point surpris de rencontrer, en suivant la même couche, soit un dépôt d'eau douce, soit un dépôt tout à fait marin; cette rencontre dépendrait de la direction que nous aurions prise en montant ou en descendant le long de l'ancienne rivière ou du dépôt du delta.

Dans les couches que nous avons décrites ci-dessus, l'association des argiles supportant des arbres verticaux, à d'autres lits contenant des coquilles marines et d'eau saumâtre, im-

(1) *Geol. Quart. Journ*, vol. II, p. 393; et vol. VI, p. 113.

plique des changements si souvent répétés de terres en mers et de mers en terres, qu'ici comme partout ailleurs peut-être, nous devions nous attendre à rencontrer des marques évidentes de la chute de pluies sur d'anciens rivages marins. Effectivement nous en avons observé, M. Dawson et moi, à différents niveaux; mais les plus beaux échantillons de ce genre ont été recueillis par M. Brown près de Sidney, cap Breton. Ce sont des empreintes très délicates de gouttes d'eau sur des schistes verdâtres avec traces de vers (*a*, *b*, fig. 495) analogues à celles qui accompagnent ordinairement la repro-

FIG. 495. FIG. 496.

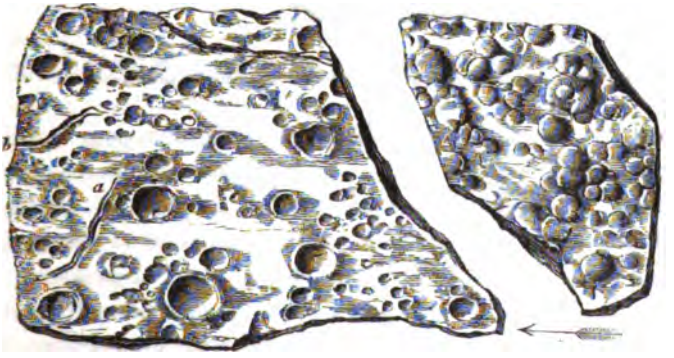


FIG. 495. — Empreintes en creux de gouttes de pluie, et traces de vers, *a*, *b*, sur schiste vert de l'époque Carbonifère, au Cap Breton, Nouvelle-Écosse. Grandeur naturelle.

FIG. 496. — Empreintes en relief de gouttes de pluie sur une portion de la même plaque, figure 495, vue à sa face inférieure qui reposait sur un lit de schiste arénacé. Grandeur naturelle. — Les flèches représentent la direction supposée de la pluie.

duction des gouttes de pluie sur la vase récente de la baie de Fundy et d'autres plages actuelles.

Les empreintes représentées dans les figures 496 et 497 existent en relief à la face inférieure de deux couches qui gisent à deux niveaux différents; l'une de ces couches consiste en grès schisteux, et repose sur un schiste argileux vert (fig. 495); l'autre est un grès à surface semblablement verruqueuse, et sur laquelle on remarque aussi de petites saillies longitudinales *a*, qui attestent d'anciennes crevasses

formées par le retrait de l'argile sous-jacente sur laquelle la pluie est tombée; plusieurs des grès voisins sont ondulés.

La nature même de la végétation, et la continuité des

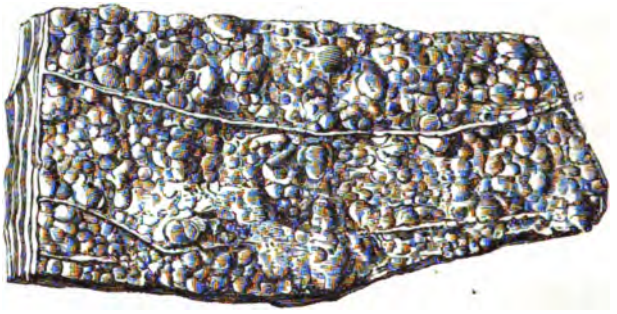


FIG. 497. — Empreintes en relief de gouttes de pluie et de fissures de retrait *a*, à la face inférieure d'un lit de grès; Cap Breton, Nouvelle-Écosse. Grandeur naturelle.

forêts sur des centaines de kilomètres, suffiraient pour établir la grande humidité du climat de la période houillère; mais il n'est pas moins intéressant pour la science que l'on ait enfin rencontré des preuves aussi positives de la chute de pluies dont les gouttes ressemblaient pour la grosseur à celles qui tombent de nos jours. Ces faits nous permettent de penser que, durant la période carbonifère, l'atmosphère ne différait point, quant à sa densité, de l'atmosphère actuelle, et qu'alors, comme aujourd'hui, les courants d'air variaient de température, et donnaient lieu, par leur rencontre, à la condensation de vapeurs aqueuses.

Plus on étudie les couches houillères, plus on se persuade qu'elles ont été formées à la manière des deltas modernes. Au sein de la vaste épaisseur de limon stratifié et de sable fin sans cailloux roulés qui les constitue, on rencontre d'innombrables tiges, feuilles et racines de végétaux terrestres, avec absence presque complète de tout mélange de débris marins, circonstance qui dénote l'existence prolongée sur un même fond d'une masse considérable d'eau douce. Comme toutes les grandes rivières, cette masse

charriait une quantité inépuisable de sédiment qu'elle a déversé sur des plaines d'alluvion, loin des terres élevées, tandis que toutes les parties grossières et le gravier ont été entraînés à une distance moindre. Ces phénomènes impliquent l'asséchement et la dénudation d'un continent ou d'une grande île que traversaient une ou plusieurs chaînes de montagnes. La présence accidentelle, sur certains points, de lits formés dans les eaux saumâtres, s'accorde également avec l'idée de l'existence d'un delta, surface dont les parties basses sont toujours exposées aux submersions par les eaux de la mer, même en admettant que le sol n'éprouve aucune oscillation de niveau.

La pureté de la houille même, et l'absence de toute partie terreuse ou sableuse sur de vastes étendues, s'explique difficilement si l'on considère chaque lit du combustible comme le résultat d'une végétation développée dans un marécage. On s'est demandé comment des inondations capables d'entraîner les feuilles de fougères ainsi que les tiges et racines de *Sigillaria* ou d'autres arbres, n'ont pu transporter aucune parcelle de limon fin dans des eaux stagnantes. Il faudrait donc admettre que les grands arbres auraient crû, de génération en génération, avec leurs racines fixées dans le limon, et que leurs feuilles et leurs troncs, jonchant le sol, auraient ensuite formé des lits de matière végétale, recouverts plus tard du limon qui constitue les schistes aujourd'hui ; pendant ce temps, la houille elle-même, ou la matière végétale altérée, serait restée tout à fait pure de particules terreuses ! La question, quelque embarrassante qu'elle soit au premier abord, peut se résoudre, il me semble, avec une certaine facilité, si l'on se reporte à ce qui se passe de nos jours dans les deltas. Les roseaux et plantes herbacées qui couvrent les bords des eaux stagnantes dans la vallée et le delta du Mississipi forment une végétation tellement luxuriante, que les eaux de ce fleuve, en passant au travers des massifs, filtrent en quelque sorte, et deviennent tout à fait limpides avant d'atteindre les points où les matières végétales s'accumulent depuis des

siècles et forment de la houille. Tout mélange de matières terreuses est impossible. C'est ainsi que, sur la vaste étendue submergée que l'on appelle *Sunk Country* (Contrée Enfoncée) près de New-Madrid, dans la partie occidentale de la vallée du Mississipi, des arbres sont restés en position verticale depuis l'année 1811-12, époque à laquelle ils ont cessé de vivre par suite du grand tremblement de terre; sur cette surface, dans les endroits peu profonds, ont végété des plantes lacustres et palustres; plusieurs rivières ont annuellement inondé l'espace entier, et cependant aucun sédiment n'a franchi les limites du marécage, tellement est dense la ceinture marginale de roseaux et de broussailles qui les compose.

Dans les *marécages à Cyprès* du Mississipi, aucun sédiment ne vient se mêler à la matière végétale qu'y accumule la destruction des arbres et des plantes semi-aquatiques. Lorsque de fortes chaleurs mettent à sec une portion de marécage dans la Louisiane, et qu'en même temps le feu prend aux bois, on voit le sol brûler aussi profondément que l'incandescence peut descendre avant d'atteindre l'eau, et rarement on remarque le moindre résidu de matières terreuses (1). Au fond de tous ces *marécages à Cyprès*, on rencontre un lit d'argile rempli de racines du grand Cyprès (*Taxodium distichum*), tout comme les argiles sous-jacentes à la houille contiennent le *Stigmaria*.

J'ai déjà dit que les couches carbonifères à South Joggins, dans la Nouvelle-Écosse, mesuraient près de 4 kilomètres de puissance, et que l'on avait constaté la grande épaisseur de l'étage houiller près de Pictou, à plus de 160 kilomètres vers l'Est. Si donc l'on cherche à évaluer le volume probable des matières solides contenues dans les bassins houillers de la Nouvelle-Écosse, on ne commettra pas une grande erreur en portant l'épaisseur moyenne des couches à 2500 mètres,

(1) Lyell, *Second Visit to the United States*, vol. II, p. 245; et *Amer. Journ. of Sc.*, 2e série, vol. V, p. 17.

c'est-à-dire à environ la moitié de celle qu'indiquent les coupes réelles prises avec soin. En étendue, le bassin houiller comprend une large portion du Nouveau-Brunswick vers l'Ouest, et s'étend au Nord jusqu'à l'île du Prince Édouard, probablement aussi jusqu'aux îles Madeleine. Si l'on y ajoute les couches du cap Breton, et celles qu'a dû entraîner la dénudation ou qui sont encore cachées sous les eaux du golfe Saint-Laurent, on aura une surface d'environ 58000 kilomètres carrés. Cette surface, avec l'épaisseur de 2300 mètres dont il a été question ci-dessus, donnera plus de 80000 kilomètres cubes de matière solide pour le volume des roches carbonifères.

Le Mississipi mettrait plus de deux millions d'années pour accumuler dans le golfe du Mexique une quantité égale de matière solide sédimentaire, en supposant que la moyenne de décharge des eaux par ce grand fleuve fût, comme l'a calculé M. Forshey, de 137157 mètres cubes par seconde, pendant toute l'année, et que la quantité de limon s'élevât comme l'a estimé M. Riddell, à 1128678508 mètres cubes par année (1).

Le Gange, suivant les renseignements fournis par MM. Everest et Strachey, transporte annuellement une si vaste quantité de matière solide à la baie du Bengale, qu'il pourrait accomplir la même tâche en 375000 ans, ce qui n'est pas le cinquième du temps qu'exigerait le Mississipi (2).

Les couches carbonifères inférieures de la Nouvelle-Écosse, de même que les couches moyennes et supérieures, se composent de lits formés dans les basses eaux ; ce fait prouve que la totalité de l'abaissement vertical de 4 kilomètres et demi, qu'on remarque aux South Joggins, a dû se produire graduellement. Si cet abaissement était réparti sur 375000 ans, il ne dépasserait pas $1^{m},20$ en moyenne par siècle ; c'est aujourd'hui le mouvement qu'éprouvent certaines

(1) *Principes de Géologie*, 9e édit., 1853, p. 273.
(2) *Ibid.*, 1853, p. 283.

contrées, mouvement tout à fait insensible aux habitants, quelle que soit sa direction, et que les savants seuls constatent par des recherches. Si, d'un autre côté, l'abaissement était réparti sur deux millions d'années, la moyenne n'en serait que de 15 centimètres par siècle. Mais un mouvement identique se produisant dans une direction ascendante suffirait pour élever une partie de la croûte terrestre à la hauteur du Mont-Blanc, c'est-à-dire à environ 4 kilomètres et demi au-dessus du niveau de la mer.

Le delta du Gange présente, sous un certain rapport, une analogie frappante avec le bassin houiller de la Nouvelle-Écosse; la découverte faite à Calcutta, à la profondeur de 2 ou 3 mètres au-dessous de la surface du sol, d'arbres ensevelis, munis encore de leurs racines, a démontré l'existence d'un ancien sol, devenu aujourd'hui un sous-sol. Dans le forage d'un puits artésien pratiqué sur le même point, à la profondeur de 147 mètres, on a observé à différents niveaux, et même au delà de 90 mètres au-dessous de celui de la mer, d'autres vestiges de sols anciens couverts de forêts et de tourbières. Les couches traversées ont fourni des débris d'espèces récentes de plantes et d'animaux d'eau douce, ce qui prouverait qu'un abaissement a eu lieu dans le temps même où s'accumulait le limon fluviatile.

Dans les bassins houillers d'Angleterre, on remarque fréquemment la même association de couches d'eau douce, ou plutôt d'eau saumâtre, et de couches marines, étroitement liées à des lits de houille d'origine terrestre. Tel est le cas du dépôt des environs de Shrewsbury, décrit par Sir R. Murchison comme constituant le membre le plus récent de la série carbonifère de ce district. Ce dépôt, qui s'est probablement formé dans une eau saumâtre, est situé à un point où les couches de l'étage houiller sont en contact avec le Permien ou *Nouveau Grès Rouge Inférieur*. Il se compose de schistes argileux et grès sur une épaisseur d'environ 45 mètres, et contient de la houille ainsi que des vestiges de

plantes; on y remarque un lit calcaire de 60 centimètres à 2m,75 d'épaisseur, à structure cellulaire, et ressemblant à certains calcaires lacustres de France et d'Allemagne. Ce dépôt a été suivi sur une longueur de 48 kilomètres en droite ligne, et l'on peut en distinguer des traces à une distance encore plus considérable. Ses fossiles caractéristiques sont de petites bivalves présentant la forme de *Cyclas* et de *Cyrena;* de petits entomostracés qui sont peut-être des *Cypris*, ou, s'ils sont d'origine marine, des *Cytherœ*

FIG. 498. — *a. Microconchus (Spirorbis) carbonarius.* De grandeur naturelle, et même échantillon grossi. — *b.* Variété de la même espèce.

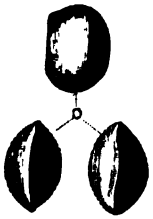


FIG. 499. — *Cypris? inflata* (ou *Cythere?*). De grandeur naturelle, et la même grossie; Murchison (1).

(fig. 499); enfin des coquilles presque microscopiques d'un annélide du genre éteint *Microconchus* (fig. 498), allié au genre *Serpula* ou *Spirorbis.*

Dans les divisions inférieures de l'étage houiller de Coalbrook Dale, les couches, suivant M. Prestwich, changent souvent d'une manière complète sur un court espace : des lits de grès passent, dans le sens horizontal, à de l'argile, et l'argile à un grès. Les lits de houille se terminent souvent en coin, ou s'éteignent subitement, et des coupes faites sur des points presque contigus présentent des différences lithologiques tranchées. Dans le seul bassin de Coalbrook Dale, où les couches mesurent 200 à 250 mètres de puissance, on a signalé plus de quarante à cinquante espèces de plantes terrestres, outre un grand nombre de poissons des genres *Megalichthys*, *Holoptychius* et autres. On y rencontre aussi des Crus-

(1) *Silurian System*, p. 84.

tacés du genre *Limulus* (fig. 500), ressemblant par tous leurs caractères essentiels aux limules de la période Oolitique et au *Crab-Royal* (*King-Crab*) des mers actuelles. Ces anciennes espèces étaient plus petites que les formes analogues qui vivent à présent; elles avaient l'abdomen profondément sillonné en travers et dentelé vers les bords. Dans l'échantillon que nous avons figuré, la queue manque, mais, dans un autre échantillon d'une espèce différente, provenant encore de Coalbrook Dale, la queue montre de la ressemblance avec celle des Limules d'aujourd'hui.

M. Ick a découvert aussi, dans le fer carbonaté lithoïde de ces couches, la carapace complète d'un Crustacé décapode à

Fig. 500. — *Limulus rotundatus*, Prestwich. Terrain houiller; Coalbrook Dale.

Fig. 501. — *Glyphæa? dubia*, Salter. Syn., *Apus dubius*, Milne Edwards. Le plus ancien crustacé décapode (ou à longue queue) connu. Terrain houiller; Coalbrook Dale.

longue queue (fig. 501). M. Salter rapporte ce fossile au *Glyphæa*, genre que l'on trouve aussi dans le Lias et l'Oolite. Les couches du même bassin présentent plus de quarante espèces de mollusques, dont deux ou trois appartiennent au genre d'eau douce *Unio*, et les autres à des formes marines, à des *Nautilus*, *Orthoceras*, *Spirifer* et *Productus*. D'après M. Prestwich, le mélange de lits d'eau douce et de lits marins, ainsi que l'alternance de grès grossier et de conglomérat avec des argiles fines ou des schistes contenant des débris de plantes, peuvent s'expliquer en supposant que le dépôt de Coalbrook Dale aurait été formé dans une baie ou estuaire recevant une rivière considérable sujette à grossir (1).

(1) Prestwich, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. V, p. 440.

On a signalé également à Coalbrook Dale une ou plusieurs espèces de Scorpion, deux insectes ailés de la famille des *Curculionidæ*, un insecte névroptère ressemblant au genre *Corydalis*, et un autre qui se rapporte aux *Phasmidæ*. Dans les couches houillères de Wetting en Westphalie, les Allemands ont découvert plusieurs exemplaires d'articulés appartenant à la famille des Blattes, et les ailes d'un grillon (*Acridites*), qui ont été décrits par Germar (1).

Plus récemment (1854), M. Fr. Goldenberg a publié la description de plus de douze espèces d'insectes provenant du minerai de fer argileux de Saarbrück près de Trèves (2). Ces insectes accompagnaient des frondes de fougères fossiles. Ils ont fourni plusieurs *Blattinæ*, trois espèces de *Neuroptera*, un escarbot de l'ancien genre *Scarabæus*, une sauterelle (*Gryllacris*) (fig. 502), et plusieurs fourmis blanches

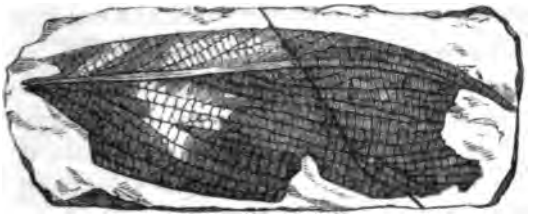


FIG. 502. — Aile de sauterelle. *Gryllacris lithanthraca*, Goldenberg. Terrain houiller ; Saarbrück près de Trèves.

ou *Termites*. Le nombre de ces espèces récemment découvertes est probablement supérieur à celui de tous les insectes fossiles reconnus jusque-là dans les couches houillères.

Le bassin houiller d'Édimbourg, et particulièrement la localité de Burdiehouse, ont offert au docteur Hibbert des poissons, des mollusques et des Cypris, fossiles très semblables à ceux du Shropshire et du Staffordshire. Dans le bassin houiller du comté d'York existent aussi des couches d'eau douce dont quelques-unes contiennent des coquilles se rapportant au genre *Unio;* au milieu de la série, on rencontre

(1) Münster, *Beitr.*, vol. V, pl. 13, 1842.
(2) *Palæont.*, Dunker et V. Meyer, vol. IV, p. 17.

un lit fort mince, mais très largement développé en surface, qui abonde en poissons, et en coquilles marines telles que *Goniatites Listeri* (fig. 503), *Orthoceras* et *Avicula papyracea*, Goldf. (fig. 504).

Fig. 503. — *Goniatites Listeri*, Martin, sp.

Fig. 504. — *Avicula papyracea*, Goldf. (*Pecten papyraceus*, Sow.).

Malgré le voisinage, on n'a pas constaté de couches à coquilles marines semblables dans le bassin houiller de Newcastle, où, comme dans la Galles du Sud et le Somersetshire, les dépôts marins sont tout à fait inférieurs à ceux qui contiennent des fossiles terrestres et d'eau douce (1).

Minerai de fer argileux (*Clay-iron-stone*) (2). — On rencontre communément, au sein des couches du terrain houiller, des bandes et des nodules de minerai de fer argileux composé, suivant Sir H. de la Bèche, de carbonate de fer mélangé d'une matière terreuse analogue à celle qui constitue les schistes. Pour expliquer la conformation de ce minerai, M. Hunt a montré que la décomposition de la matière végétale répandue dans toute la série des couches houillères avait dû prévenir la suroxydation des protosels de fer, et convertir le peroxyde en protoxyde, en s'emparant d'une portion de l'oxygène de la première de ces bases pour former de l'acide carbonique. Celui-ci venant à rencontrer le protoxyde de fer en dissolution, s'en est emparé pour former du carbonate de fer; et le tout, se mélangeant à la vase fine après la disparition de l'excès d'acide carbonique, aurait constitué des lits ou des nodules de minerai de fer argileux (3).

(1) Phillips, art. Geology, *Encycl. Metrop.*, p. 592.

(2) C'est le *fer carbonaté lithoïde* des minéralogistes français.
(*Note du traducteur.*)

(3) *Memoirs of Geol Surv*, p. 51. 255, etc.

CHAPITRE XXV.

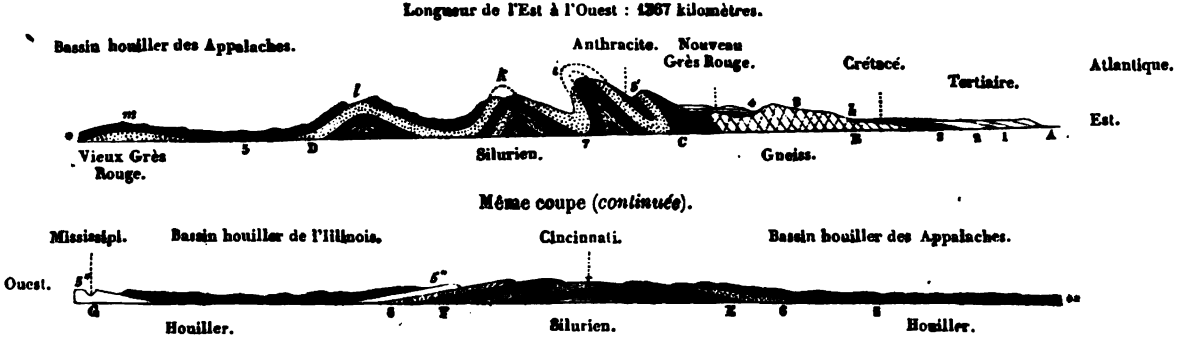
GROUPE CARBONIFÈRE (*suite*).

Bassins houillers des États-Unis. — Coupe à travers la contrée située entre l'Atlantique et le Mississipi. — Situation des terres durant la période carbonifère, à l'Est des Alléghanys. — Roches de formation mécanique s'amincissant vers l'Ouest, et calcaires augmentant en épaisseur dans la même direction. — Combinaison de plusieurs lits minces de houille en une seule couche épaisse. — Terrain houiller horizontal à Brownsville, Pensylvanie. — Vaste extension et continuité de certains petits lits de houille. — Ancien lit de rivière dans le bassin houiller de Forest of Dean. — Climat de la période carbonifère. — Insectes dans la houille. — Rareté des animaux à respiration aérienne. — Grand nombre de poissons fossiles. — Première découverte de squelettes de reptiles. — Empreintes de pas de reptiles. — Premières coquilles terrestres. — Rareté des animaux à respiration aérienne, soit vertébrés, soit invertébrés, dans l'étage houiller. — Calcaire de montagne. — Ses coraux et ses coquilles marines.

Nous avons établi dans le dernier chapitre la grande uniformité qui se manifeste entre les plantes fossiles de l'étage houiller d'Europe et de l'Amérique du Nord ; ajoutons que les quatre cinquièmes des végétaux recueillis dans la Nouvelle-Écosse ont leurs identiques parmi les espèces d'Europe. On peut donc parfaitement admettre l'existence, à l'époque carbonifère, d'un continent ou chaîne d'îles, qui se serait étendu à l'Est de la côte actuelle du Nord de l'Amérique, sur l'emplacement couvert aujourd'hui par l'Atlantique. Nous ne manquons point de preuves qui viennent confirmer cette hypothèse, et les géologues en acquièrent une bien certaine en partant de la composition minérale des roches carbonifères et de quelques autres groupes du versant oriental des Alléghanys, et en comparant leurs caractères avec ceux de la contrée basse située à l'ouest de ces montagnes.

Le diagramme ci-contre (fig. 505) facilitera au lecteur l'intelligence des phénomènes dont je veux parler ; mais il

FIG. 505. — Diagramme explicatif de la structure géologique d'une portion des États-Unis, de l'Atlantique au Mississipi.



AB. Plaine vers l'Atlantique.
BC. Versant du côté de l'Atlantique.
CD. Chaine des Alléghanys, ou des Appalaches.
DE. Bassin houiller des Appalaches, à l'ouest de ces montagnes.
EF. Affleurement sous forme de dôme, sur l'Ohio, de couches plus anciennes que le terrain houiller.

FG. Bassin houiller de l'Illinois.
h. Chutes et rapides de rivières, au point de jonction des formations hypogènes et des roches plus modernes.
iklm. Plis parallèles des Appalaches qui sont successivement de moins en moins aigus à mesure que l'on avance de l'Est à l'Ouest.

Désignation des différentes Formations.

1. Tertiaire miocène.
2. Tertiaire éocène.
3. Couches crétacées.
4. Grès rouge avec ornithichnites (Nouveau Grès Rouge, ou Trias?), habituellement très injecté de trapp.
5. Terrain houiller (houille bitumineuse).
5'. Terrain houiller à anthracite.
5''. Calcaire carbonifère du bassin houiller de l'Illinois, qui manque dans les Appalaches.
6. Vieux Grès Rouge ou Devonien, schistes de couleur olive, etc.
7. Couches primaires fossilifères, ou Silurien.
8. Couches hypogènes, ou gneiss, micaschiste, etc., avec veines de granit.

Note. Les lignes ponctuées en *i* et *k* représentent les portions de roche qui ont été enlevées par la dénudation, et dont la quantité peut être estimée par la supposition des lignes semblables menées sur d'autres points où les différentes couches se terminent brusquement à la surface.

N. B. La coupe inférieure fait suite par son extrémité marquée '' à l'extrémité marquée ' de la coupe supérieure.

faut prendre garde que ce n'est point ici une coupe véritable. Un grand nombre de détails ont dû être omis, et l'échelle des hauteurs n'est point proportionnée à celle des distances horizontales ; il n'en pouvait, du reste, être autrement.

En partant des bords de l'Atlantique, du côté oriental du continent, on rencontre en premier lieu une région basse (AB) que les anciens géographes ont appelée plaine d'alluvion. Elle est formée de couches tertiaires et crétacées presque horizontales ; nous les avons décrites (tome I, pages 289, 363 et 395). La zone qui suit, de B à C, consiste en roches granitiques (hypogènes), principalement gneiss et micaschistes, parfois recouvertes d'un grès rouge en stratification discordante, indiqué ici sous le n° 4 (Nouveau Grès Rouge ou Trias) ; ce grès est remarquable par les empreintes de pas d'animaux qu'il contient ; quelquefois il repose sur des tranches de roches Paléozoïques disloquées, comme on le voit dans la coupe. La région BC que l'on a quelquefois appelée le *Versant Atlantique* correspond à peu près dans sa largeur moyenne à la plaine basse et plate AB, et elle est caractérisée par des collines qui contrastent beaucoup, quant à leur forme arrondie et leur peu de hauteur, avec les crêtes longues, escarpées, élevées et parallèles des Alléghanys. Les affleurements des couches sur ces crêtes, de même que les deux zones de roches hypogènes, les unes BC, et les autres plus récentes AB, montrent, lorsqu'on les projette sur une carte géologique, de longues bandes de différentes couleurs qui courent dans une direction N.-E. et S.-O., tout comme le Lias, la Craie et autres formations secondaires dans la région moyenne et la moitié orientale de l'Angleterre.

Les zones étroites et parallèles des Appalaches consistent ici en couches plissées indiquant une succession de lits convexes et concaves qui ont été postérieurement mis à découvert par la dénudation. Les roches composantes ont une grande épaisseur, et peuvent toutes se rapporter aux formations Silurienne, Devonienne et Carbonifère. Il ne se trouve point ici d'axe principal ou central comme dans les Pyrénée

et diverses autres chaînes, c'est-à-dire de noyau auquel se conforment les reliefs plus petits ; mais la chaîne est composée de plusieurs plis presque égaux et parallèles, présentant ce qu'on appelle une disposition anticlinale et synclinale. Ce système de collines se prolonge avec le même caractère géologique, de Vermont à Alabama, sur plus de 160 kilomètres en longueur, 80 à 240 kilomètres en largeur, et une hauteur qui varie de 700 à 2 000 mètres. Parfois l'ensemble des crêtes court suivant une ligne parfaitement droite, sur un espace de plus de 80 kilomètres, et toutes ensuite se contournent en prenant une direction nouvelle, sous un angle de 20 à 30 degrés par rapport à la direction première.

On doit à deux géologues des États de Virginie et de Pensylvanie, MM. W.-B. Rogers et H.-D. Rogers, une importante découverte relative à la loi générale de structure qui domine à travers cette chaîne montagneuse, loi qui, toute simple qu'elle semble être lorsqu'on la signale et qu'on l'explique clairement, peut cependant avoir longtemps échappé au milieu d'un faisceau si nombreux de détails compliqués. Il paraîtrait que le plissement et la fracture des couches sont plus considérables sur le côté S.-E. ou Atlantique de la chaîne, et que ces couches présentent des signes de moins en moins distincts de dislocation à mesure que l'on s'avance vers l'Ouest, jusqu'à ce qu'enfin elles reprennent leur position originelle ou horizontale. Si l'on se reporte à la coupe (fig. 505), on verra que, sur le côté oriental, ou sur les crêtes les plus rapprochées de l'Atlantique, les plongements au S.-E. dominent, les lits ayant été plissés vers une direction opposée comme en *i*, et un des côtés N.-O. de chaque arc ayant été interverti. Le groupe de courbure qui suit, c'est-à-dire celui de *k*, montre une ouverture plus prononcée, et chaque courbure a son côté occidental plus abrupt; le groupe *l* est encore plus ouvert, l'autre, *m*, l'est bien plus à son tour, et celui-ci continue jusqu'à la partie basse et plate du bassin houiller de l'Appalache (DE).

Dans une coupe vraie, c'est-à-dire reproduisant la nature,

le nombre des courbures ou plis parallèles serait tellement considérable, qu'on ne saurait les représenter sans confusion. Il est clair que de grandes quantités de roches ont été enlevées par l'action aqueuse ou dénudation, comme on peut s'en convaincre si l'on essaie de compléter toutes les courbures, ainsi que nous l'avons fait par les lignes ponctuées *i* et *k*.

Les mouvements qui ont imprimé un caractère aussi uniforme à la structure de ce vaste système de roches doivent avoir été, sinon contemporains, au moins non interrompus pour la même série, et produits par quelque cause commune. Dans de certaines limites, leur date géologique est parfaitement établie ; ils ont dû commencer après le dépôt des couches Carbonifères (n° 5), et avant la formation du Grès Rouge (n° 4). Une plus grande force de dislocation et de dénudation a certainement agi sur le côté Sud-Est de la chaîne, et c'est là que les roches ignées ou plutoniques ont pénétré dans les couches en formant des dykes dont quelques-uns courent, sur plusieurs kilomètres, parallèlement à la direction principale des Appalaches, c'est-à-dire N.-N.-E. et S.-S.-O.

L'épaisseur des roches carbonifères, dans la région C, est considérable ; elle diminue rapidement vers l'Ouest. Les rapports qui ont été faits sur la géologie des États de Pennsylvanie et de Virginie montrent que le Sud-Est de cette région a été le point d'où ont dérivé les matières les plus grossières de ces couches, de telle sorte que l'ancien continent devait être situé dans cette direction. Le conglomérat qui forme la base générale de l'étage houiller mesure une épaisseur de 460 mètres au mont Sharp, où je l'ai vu (à C) près de Pottsville ; à 48 kilomètres environ au N.-O., il ne présente plus qu'une épaisseur de 150 mètres, et diminue graduellement à mesure qu'on s'éloigne dans cette même direction, jusqu'à ce qu'il se trouve réduit à 9 mètres à peine (1). D'un autre

(1) H. D. Rogers, *Trans. Assoc. Amer. Geol.*, 1840-42, p. 440.

côté, les calcaires du terrain houiller augmentent graduellement vers l'Ouest. On a observé le même fait dans les formations Silurienne et Devonienne du New-York ; les grès ainsi que toutes les roches de formation mécanique s'amincissent à mesure qu'ils avancent vers l'Ouest, et les calcaires augmentent d'épaisseur à leurs dépens. Il est clair que l'ancien continent occupait à l'Est l'emplacement même que remplit aujourd'hui l'Atlantique ; la mer profonde, avec ses bancs de coraux et de coquilles, s'étendait à l'Ouest sur l'espace où se trouve aujourd'hui le bassin hydrographique du Mississipi.

C'est près de Pottsville que la puissance du terrain houiller est la plus considérable ; on y compte au delà de treize couches de houille anthraciteuse, quelques-unes mesurant plus de $1^{m},80$ d'épaisseur. Parmi les inférieures, il en est qui alternent avec des lits de grès blanc et de conglomérat dont les grains sont les plus grossiers que j'aie jamais observés ; ces lits sont associés à de la houille pure. Les galets quartzeux compris dans la roche sont souvent gros comme un œuf de poule. J'ai suivi ces sortes de Poudingues et grès grossiers sur plusieurs kilomètres à partir de Pottsville, en passant par Tamacua, jusqu'à Lehigh Summit Mine. M. H. D. Rogers que j'accompagnais m'a fait remarquer que les couches à grains grossiers et les schistes qui leur sont associés s'amincissent à tel point, que sept lits de houille, d'abord très séparés les uns des autres, se rapprochent graduellement, et finissent par se réunir pour ne plus former qu'une seule masse de 12 à 15 mètres de puissance. J'ai vu cet énorme banc de houille anthraciteuse exploité à ciel ouvert à Mauch Chunk ; le grès qui le recouvrait sur une épaisseur de 12 mètres avait été enlevé du sommet de la colline, et celle-ci, pour me servir de l'expression même des mineurs, avait été *scalpée*.

L'accumulation de matière végétale qui constitue aujourd'hui ce vaste banc d'anthracite avait peut-être 60 à 90 mètres d'épaisseur avant qu'elle eût été condensée par la pression

et par l'ablation de son hydrogène, de son oxygène et de ses autres éléments volatils. L'origine d'une pareille masse de débris végétaux aussi pure d'ingrédients terreux ne peut, selon moi, s'expliquer que par le développement continu, pendant des milliers d'années, d'arbres et de fougères. Ce qui vient surtout à l'appui de cette théorie, c'est la présence, sous chacune des bandes d'anthracite, des stigmariées encore en place. L'hypothèse rivale, qui consiste à supposer un transport de plantes à la mer ou dans un estuaire, ne rend nullement compte de l'absence de sédiment, ni, dans le cas particulier dont il s'agit, du manque de sable et de cailloux.

Comment se fait-il que des couches de houille aussi nombreuses, et qui furent continues sur des kilomètres entiers, se soient rapprochées ensuite, et aient fini par se réunir en une seule, d'épaisseur égale à toutes les autres ? C'est là une question que les mineurs anglais se sont souvent adressée. Feu Bowman leur a fait une réponse satisfaisante. Soit *a a'* (fig. 506) un amas de matières végétales capable de former par la condensation une couche de 90 centimètres de

Fig. 506.

Fig. 507.

houille. Admettons que cet amas repose sur une argile *b b'* pénétrée de racines d'arbres en place, et qu'il supporte une forêt en voie d'accroissement C D ; supposons ensuite qu'une portion de la même forêt D E vienne à être submergée par un abaissement à une profondeur de 7 mètres, de telle sorte que les arbres s'enfoncent tout en restant debout dans l'eau,

et doivent subir ultérieurement une décomposition lente pendant que les souches et la partie inférieure des troncs seront enveloppés dans les lits de sable et de limon qui rempliront graduellement le lac D F. Lorsque ce lac aura complétement été comblé et converti en terre sèche, par exemple après le cours d'un siècle, la forêt C D se développera de nouveau sur toute la surface C F (fig. 507), et une autre masse de matières végétales $g\,g'$ pourra s'accumuler de C à F pour former une autre épaisseur de 90 centimètres de houille. On trouvera alors dans la région F deux niveaux de combustible $a'\,g'$, chacun de 90 centimètres d'épaisseur, et séparés par $7^{m},50$ de grès et de schiste, avec des arbres en position verticale reposant sur la houille inférieure, tandis qu'entre D C ces deux niveaux se seront rejoints en un seul, épais de $1^{m},80$. Mais, dira-t-on, le développement de la végétation ayant été non interrompu pendant plus d'un siècle, la matière végétale devra être plus épaisse dans la région C D que les deux bandes ensemble $a'g'$ vers F : oui, sans doute, on remarquera entre ces deux épaisseurs une certaine différence due à la génération en plus que compte l'une d'elles, et cette différence pourra s'élever jusqu'à 12 ou peut-être 25 millimètres, mais elle ne sera point suffisante pour empêcher le mineur d'affirmer que la couche $a\,g$, dans sa section perpendiculaire à C D, est égale aux deux bandes $a'\,g'$ en F.

Le lecteur a vu, d'après la coupe (fig. 505, p. 110), que les couches du bassin houiller des Appalaches prenaient, à l'Ouest de ces montagnes, une direction horizontale. Elles sont coupées par trois grandes rivières navigables, le Monongahela, l'Alleghany et l'Ohio ; toutes trois montrent sur leurs bords des affleurements de houille. De la première, à Brownsville, on découvre une vue magnifique de la principale couche de houille bitumineuse, laquelle, épaisse de 3 mètres, est appelée *Couche de Pittsburg*, et se présente dans un escarpement presque à fleur d'eau. J'en ai pris l'esquisse du pont situé au-dessus de la rivière

(fig. 508). Le combustible est recouvert d'un schiste char-

FIG. 508. — Vue de la grande couche de houille sur le Monongahela, à Brownsville, Pennsylvanie, États-Unis.
a Couche de houille, de 3 mètres. — *b*. Schiste noir bitumineux ou charbonneux, de 3 mètres. — *c*. Grès micacé. — *d*, *d*. Couche supérieure de 1m,80.

bonneux *b*, surmonté à son tour d'un grès micacé *c*. On

a creusé, à très peu de frais, des galeries horizontales d'où les eaux s'écoulent d'elles-mêmes, et dans lesquelles les charrettes chargées de houille et attachées l'une à l'autre, glissent naturellement, suivant la pente d'un railway, pour aller décharger leur fardeau dans des barques amarrées au rivage. La même couche se retrouve sur la rive droite en *a*, et l'on peut la suivre sans discontinuité jusqu'à Pittsburg, à plus de 80 kilomètres. Comme elle est presque horizontale, tandis que la rivière descend, son niveau relatif s'élève de plus en plus au-dessus de celui du Monongahela, sans toutefois présenter d'inconvénients pour l'exploitation. Au-dessous de la grande couche de houille de Brownsville, est une argile de 45 centimètres d'épaisseur, superposée à plusieurs couches de calcaire qui couvrent de nouvelles assises de houille. J'ai indiqué aussi dans mon esquisse, en *d d*, une autre petite couche exploitable qui se montre sur la pente des collines, à une hauteur plus considérable. Là, chaque propriétaire peut ouvrir un puits de houille sur son domaine, et la stratification est si régulière, qu'il lui est toujours facile de calculer avec précision la profondeur à laquelle il rencontrera le combustible.

Le bassin houiller des Appalaches, dont ces couches font partie (de C à E, coupe, fig. 505, p. 110), est remarquable par sa vaste surface ; suivant M. H. D. Rogers, il se prolongerait sans discontinuité du N.-E. au S.-O., sur une longueur de plus de 1100 kilomètres, pour une largeur maximum de 280 kilomètres. Ce n'est pas exagérer que de porter cette étendue en surface à 170,000 kilomètres carrés.

Avant que ses limites premières fussent restreintes par la dénudation, cette formation houillère a mesuré plus de 1500 kilomètres de long, et, sur quelques points, plus de 320 kilomètres de large. La coupe (fig. 505) fait voir que les couches de houille sont horizontales vers l'Ouest des montagnes de la région D E, tandis qu'elles inclinent de plus en plus et se plissent en avançant vers l'Est. Or, on remarque invariablement que la houille devient de moins en

moins bitumineuse à mesure qu'elle s'avance, par le S.-E., vers les roches les plus contournées et les plus disloquées. Par exemple, sur l'Ohio, la proportion d'hydrogène, d'oxygène et autres matières volatiles, s'élève à 40 et 50 pour 100 ; à l'Est de cette ligne, sur le Monongahela, et particulièrement sur les points où apparaissent quelques légères flexions, on trouve encore à peu près 40 pour 100 de ces mêmes matières. Lorsqu'on pénètre dans les monts Alleghanys, où des axes anticlinaux distincts commencent à se montrer, avant toutefois que les dislocations soient considérables, la proportion en matières volatiles est généralement de 16 à 20 pour 100. Enfin, quand on arrive à certains bassins houillers isolés (5′, fig. 505) associés aux flexions les plus accentuées de la chaîne des Appalaches, et où les couches sont aujourd'hui renversées, aux environs de Pottsville par exemple, la houille ne contient plus que 6 à 12 pour 100 de bitume ; elle devient un véritable anthracite (1).

D'après Liebig et autres éminents chimistes, lorsque le bois et la matière végétale sont enfouis dans la terre, exposés à l'humidité, et soustraits en partie ou en totalité à l'action de l'air, ils se décomposent lentement, et dégagent de l'acide carbonique qui se forme aux dépens d'une portion de leur oxygène. Ils se convertissent ainsi graduellementen lignite (houille de bois), empreint d'une plus forte proportion d'hydrogène que le bois même. La décomposition continuant, le lignite passe à l'état de houille ordinaire ou bitumineuse, principalement par le dégagement de l'hydrogène carboné. Suivant Bischoff, les gaz inflammables qui s'échappent de la houille, et occasionnent souvent dans les mines de fatals accidents, contiennent toujours de l'acide carbonique, de l'hydrogène carboné, de l'azote et de l'acide hypo-azotique. Par le dégagement de tous ces gaz, la houille commune ou bitumineuse se transforme graduellement en anthracite ; elle reçoit alors les différents noms

(1) *Trans. of Assoc. of Amer. Geol.*, p. 470.

de houille esquilleuse, houille éclatante, houille dure, fraisil, etc. Le rapport intime qui existe, dans le bassin houiller des Appalaches, entre le dégagement du contenu gazeux de la houille et les dislocations que les couches ont subies, peut être attribué en partie à la facilité plus grande qu'ont rencontrée les matières volatiles pour s'échapper dès que le fractionnement des roches eut produit un nombre infini de fissures et de crevasses, et en partie à la chaleur des gaz et de l'eau qui pénétrèrent ces crevasses lors des grands mouvements par lesquels furent courbées ou plissées les couches des Appalaches. Dans la période actuelle, des eaux thermales et des vapeurs chaudes s'échappent de la terre pendant les tremblements ; des agitations analogues ont du déterminer le dégagement de la matière volatile des roches carbonifères.

Continuité des couches de houille.—Une couche de houille pouvant être continue sur une très large étendue, on s'est demandé comment des forêts avaient pu s'accroître sans interruption sensible sur une aussi grande surface. Je répondrai qu'une forêt peut souvent se développer dans un delta sur un espace de 50,100 et même 200 kilomètres, tandis que, dans un delta contigu, sur les bords du golfe du Mexique par exemple, s'élève une autre forêt offrant précisément les mêmes caractères ; par suite des âges, ces deux forêts paraîtront peut-être aux géologues avoir été continues, bien qu'en réalité elles aient été simplement contemporaines. Rien n'empêche qu'on attribue dans ce cas à la dénudation, des interruptions qui, en réalité, ont existé dès l'origine. Mais, comme dans tous les bassins houillers d'Amérique, on observe de nombreux lits à racines dont la portion supérieure ne présente pas de houille, on peut présumer que des bandes entières de matières végétales ont été enlevées par les flots. L'intervention d'une action dénudante partielle devient plus manifeste quand on voit les argiles à Stigmariées recouvertes de houille sur certains points, et, sur d'autres points, dépourvues de cette enveloppe.

Dans la forêt de Dean, on observe d'anciens lits de rivières traversant les couches de houille, et contenant des galets arrondis de ce combustible. Ils sont plus anciens que les couches houillères non disloquées qui les surmontent. Buddle affirme que des phénomènes semblables se présentent dans le bassin houiller de Newcastle. Néanmoins, ces exemples d'anciens lits de rivières sont beaucoup plus rares qu'on pourrait le penser, spécialement si l'on se rappelle l'existence fréquente des racines d'arbres (*Stigmaria*) transportées en fragments brisés dans les grès et les graviers. Un mouvement d'abaissement a été sans aucun doute la cause principale qui a soustrait des couches de houille aussi étendues à l'action des eaux fluviales.

Climat de la période Houillère. — Tant que les botanistes ont considéré la flore Carbonifère comme impliquant nécessairement un climat tropical, les géologues ont été bien embarrassés pour concilier la conservation de la matière végétale avec l'existence d'une température aussi élevée ; en effet, la chaleur hâte la décomposition des feuilles tombées et des troncs d'arbres exposés à l'air ou submergés. C'est ainsi que la tourbe, si abondante dans les étangs des latitudes élevées, disparaît dans les marais des régions chaudes. Une opinion paraît s'accréditer de plus en plus, c'est que les plantes de la houille n'indiquent pas toutes un climat semblable à celui de la zone équatoriale actuelle. Les fougères arborescentes se rencontrent au Sud jusque dans la partie méridionale de la Nouvelle-Zélande, et des Araucarias croissent à l'île Norfolk et encore plus loin au Sud dans le Chili. La prédominance des Fougères et des Lycopodes dans une contrée indique moins une chaleur intense qu'un climat humide, une température égale, et l'absence de gelées. Nous connaissons trop peu les Sigillariées, les Calamites, les Astérophyllites et autres formes spéciales à la période Carbonifère, pour raisonner sans crainte d'erreur sur la nature du climat qui leur a été propre.

On peut en dire autant des coraux et des céphalopodes du Calcaire de Montagne : ils appartiennent à des familles dont

les habitudes climatériques nous sont totalement inconnues ; et même, en supposant qu'une température chaude eût caractérisé les mers septentrionales pendant l'Ère Carbonifère, l'absence de froid aurait suffi (comme cela se voit encore aujourd'hui dans les mers des Bermudes, sous l'influence du Gulf-Stream) pour permettre aux polypiers calcaires de se développer sur une très large étendue géographique.

REPTILES CARBONIFÈRES.

Lorsqu'on voit, dans un seul bassin houiller comme celui de la Nouvelle-Écosse ou celui de la Galles du Sud, plus de cent forêts anciennes ensevelies l'une au-dessus de l'autre, et dont les racines sont encore dans leur position primitive et les troncs dirigés verticalement, n'est-on pas en droit de s'étonner que, jusqu'en 1844, on n'ait découvert dans ces roches anciennes aucun débris d'animaux à respiration aérienne. A cette époque, on n'avait pas encore reconnu d'animaux vertébrés plus élevés en organisation que les poissons ; les mammifères, les oiseaux, les sauriens, les batraciens, les tortues, les serpents manquaient totalement. On a cité dans les bassins houillers d'Europe des escarbots, des sauterelles et quelques autres insectes, mais aucune coquille terrestre. Agassiz a décrit plus de cent cinquante espèces d'Ichthyolites du terrain houiller ; quatre-vingt-quatorze de ces espèces appartiennent aux familles des Requins et des Raies, et cinquante-huit à la classe des Ganoïdes. Quelques-uns des genres s'éloignent beaucoup par leur organisation des types vivants : tels sont ceux qui font partie du groupe qu'Agassiz a désigné sous le nom de famille des *Sauroïdes*, comme le *Megalichthys*, l'*Holoptychius* et autres poissons dont plusieurs mesuraient d'énormes dimensions, et qui tous étaient carnassiers. Leur ostéologie, au dire du même auteur, rappelle celle des reptiles Sauriens, particulièrement par les étroites sutures des os du crâne, les grosses dents coniques striées longitudinalement (fig. 509), les articulations des apophyses épineuses avec

les vertèbres, et d'autres caractères. Cependant ils ne forment point une famille intermédiaire entre les poissons et les reptiles; ce sont de vrais *poissons*, mais beaucoup plus élevés en organisation que ceux actuellement vivants (1).

La figure ci-contre représente une grosse dent d'*Holoptychius*, que M. Horner a rencontrée dans le Cannel-coal du Fifeshire. Ce poisson, comme un grand nombre de ses contemporains, hantait probablement les estuaires, et par conséquent à la fois les rivières et la mer.

FIG. 509. — *Holoptychius Hibberti*, Ag.; dent de grandeur natur. Bassin houiller du Fifeshire.

Ce fut en 1844 qu'Hermann de Meyer annonça la première découverte d'un squelette de vrai reptile dans la houille de Münster-Appel, Bavière Rhénane; il le désignait sous le nom d'*Apateon pedestris*, supposant que l'animal se liait de très près aux Salamandres. Trois ans plus tard, M. Von Dechen trouva dans le bassin houiller de Saarbrück, au village de Lebach, entre Strasbourg et Trèves, les squelettes de trois espèces distinctes de reptiles à respiration aérienne, et ces espèces furent décrites par feu Goldfuss, sous le nom générique d'*Archegosaurus*. Les Ichthyolites et les plantes que l'on a rencontrés dans les mêmes couches ne permettent pas de douter que ces reptiles appartiennent véritablement à la période Houillère. Ces animaux ont laissé comme dépouille, au centre de concrétions sphéroïdales de fer carbonaté lithoïde, des crânes, des dents, la plus grande partie de leur squelette, et même quelques portions de leur peau parfaitement conservées. Le plus grand d'entre eux, l'*Archegosaurus Decheni*, devait avoir plus d'un mètre de long! Le dessin ci-après représente dans leur grandeur naturelle le

(1) Agassiz, *Poiss. Foss.*, vol. II, p. 88, etc.

crâne et les os du cou de la plus petite des trois espèces. Goldfuss a considéré ces reptiles comme des sauriens; mais H. de Meyer les regarde comme bien plus rapprochés du

Fig. 510. — *Archegosaurus minor*, Goldfuss. Reptile fossile du terrain houiller de Saarbrück.

Labyrinthodon, et, par conséquent, comme des sortes d'intermédiaires entre les Batraciens et les Sauriens. Si l'on en juge

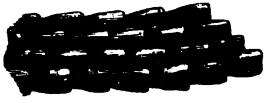


Fig. 511. — Enveloppe imbriquée de la peau, chez l'*Archegosaurus medius*, Goldf.; grossie (1).

par ce qui reste des extrémités, ces animaux furent certainement des quadrupèdes « pourvus, comme l'ajoute Meyer, de

(1) Goldfuss, *Neue Jenaische Lit. Zeit.*, 1848; et Von Meyer, *Quart. Geol. Journ.*, vol. IV, Miscell, p. 51.

mains et de pieds qui se terminaient par des doigts distincts; mais ces membres étaient faibles, et ne leur servaient qu'à nager ou à ramper. » Le même anatomiste fait ressortir certains points d'analogie qui existent entre leurs os et ceux du *Proteus anguinus*. M. Owen a remarqué aussi qu'ils se rapprochaient du Protée par la brièveté des côtes. Deux échantillons de ces anciens reptiles conservaient encore, en grande partie, l'enveloppe extérieure consistant en écailles cornées, longues, étroites, amincies vers les bords, et disposées par rangées imbriquées (fig. 511).

Empreintes de pas du Cheirotherium dans le terrain Houiller aux États-Unis. — En 1844, l'année même où l'on fit la première découverte de l'Apatéon ou Salamandre du terrain Houiller, le docteur King publia une note sur des empreintes de pas d'un grand reptile qu'il avait observées dans l'Amérique du Nord. Ces empreintes se trouvent au sein des couches houillères de Greensburg, comté de Westmoreland, Pennsylvanie; j'ai eu en 1846 l'occasion de les examiner et de vérifier l'exactitude de la description. Les premières traces reconnues se projetaient en relief à la surface inférieure de dalles de grès reposant sur des lits minces d'argile fine, onctueuse. Sur la figure 512 qui représente une de ces dalles, on remarque, outre les empreintes de pas, des modèles en relief de crevasses *a*, *a'* de différents diamètres. J'ai déjà expliqué l'origine de ces sortes de solutions de continuité dans l'argile, et la formation des modèles en relief qui en sont résultés; je les ai attribuées au desséchement et au fendillement du limon par voie de retrait, puis à l'introduction subséquente du sable dans les fentes. On voit ici que quelques-unes des crevasses, celles de *b*, *c*, par exemple, traversent des vestiges de pas et y produisent une sorte de torsion, phénomène facile à expliquer par l'état de mollesse du limon quand l'animal a marché; or, si, à ce moment, le limon eût été déjà desséché et crevassé, il aurait eu trop de consistance pour recevoir aucune empreinte.

M. King a compté dans une même carrière plus de vingt-

trois pistes (fig. 513) dont l'arrangement indiquait qu'elles avaient été laissées successivement par un même animal. Partout on rencontrait une double rangée de pas, chaque rangée se composant de paires formées par le pied de derrière et le pied de devant, et restant également distantes

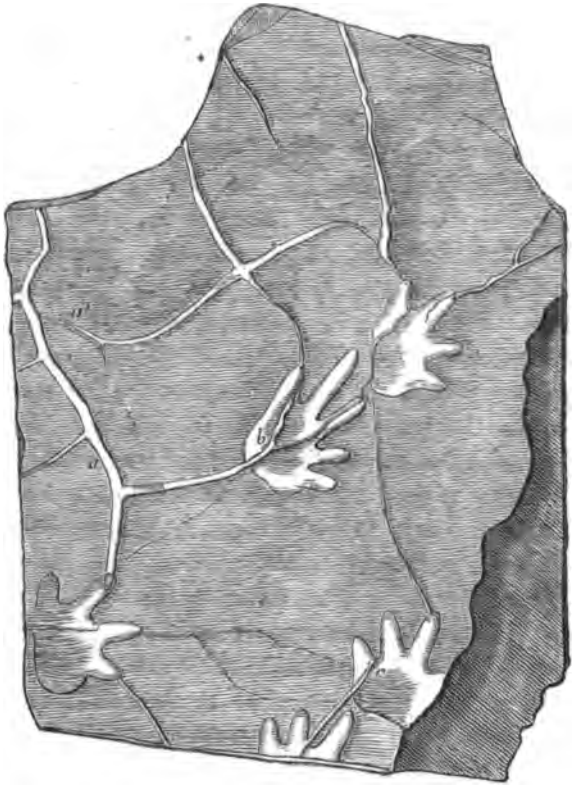


Fig. 512. — Plaque de grès du terrain houiller de Pennsylvanie, avec empreintes de pas d'un reptile à respiration aérienne, et moules en relief de crevasses. 1/16e de l'original.

des paires voisines. Dans chaque couple parallèle, l'orteil se présentait alternativement à droite et à gauche. Chez le *Cheirotherium* mentionné ci-dessus (tome II, p. 32), le pied de derrière et celui de devant avaient chacun cinq doigts, et la grosseur du pied de derrière égalait environ cinq

fois celle du pied de devant. Dans le fossile d'Amérique, l'empreinte postérieure n'est pas même le double de l'antérieure, et le nombre des doigts est inégal : il est de cinq pour

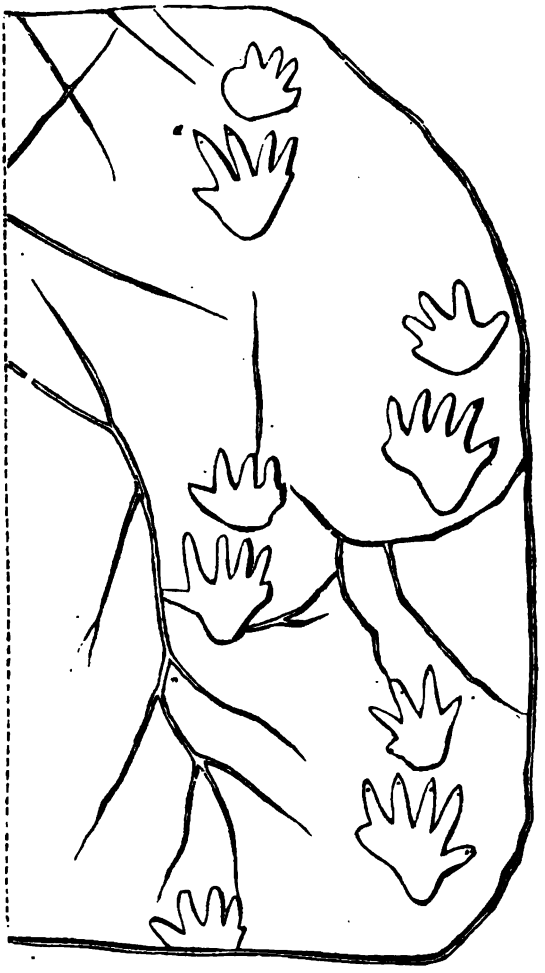


FIG. 513. — Pistes fossiles d'un reptile dans les couches houillères du comté de Westmoreland, Pennsylvanie. — *a*. Trace d'ongle ?

les pieds de derrière, et de quatre pour les pieds de devant. De même que celle du *Cheirotherium* d'Europe, l'empreinte

fossile d'Amérique montre l'un des doigts dirigé comme un pouce, et tourné alternativement vers la droite pour la rangée de gauche, et vers la gauche pour celle de droite. Le *Cheirotherium* américain était évidemment un animal plus gros que celui de l'époque triassique en Europe, et appartenait à un genre différent (1).

On peut présumer que le reptile dont les pas sont empreints sur les anciens sables du terrain houiller était un animal à respiration aérienne, car, s'il eût vécu au-dessous des eaux, son poids n'eût pas été suffisant pour imprimer des traces aussi profondes et aussi distinctes. Les modèles en relief des crevasses montrent d'ailleurs que, pour sécher et se fendiller, l'argile a dû rester exposée à l'air et au soleil.

La position géologique du grès de Greensburg est parfaitement établie : ce grès se trouve au milieu du bassin houiller des Appalaches; il supporte la couche de houille appelée *Couche de Pittsburg*, dont nous avons parlé ci-dessus (tome II, p. 116); cette couche n'a pas moins de $2^{m},75$ de puissance, et on l'exploite dans les environs. Plusieurs autres lits de houille existent aussi à des niveaux inférieurs. Au-dessus et au-dessous du niveau des traces de pas de reptiles, on rencontre des empreintes de *Lepidodendron*, *Sigillaria*, *Stigmaria* et d'autres plantes carbonifères caractéristiques.

M. Isaac Lea a découvert plus tard à Pottsville, à 112 kilomètres N.-E. de Philadelphie, des pistes d'un très grand reptile remontant à une époque bien plus ancienne; elles étaient dans une formation de schiste rouge que M. H. D. Rogers rapporte à la base de la houille, mais que d'autres géologues considèrent comme la portion supérieure du Vieux Grès Rouge. Entre les couches à empreintes de Greensburg et celles plus anciennes de Pottsville, il existe une épaisseur de plus de 520 mètres.

Dans le même Schiste Rouge, qui se trouve entre le groupe Carbonifère et le groupe Devonien, M. H. D. Rogers a signalé

(1) Lyell, *Second Visit*, etc., vol. II, p. 305.

d'autres pas qu'il a rapportés à trois espèces de quadrupèdes. Ces vestiges présentent chacun cinq doigts ; ils forment de doubles rangées et montrent une parfaite symétrie d'opposition comme s'ils eussent été produits alternativement par le pied droit et par le pied gauche ; ils indiquent aussi une alternance de pied de devant et de pied de derrière. Chaque empreinte de la plus grande des trois espèces couvre un diamètre d'environ 50 millimètres, ce qui fait voir que le pied de devant et celui de derrière avaient à peu près les mêmes dimensions. La longueur de l'enjambée était d'environ 20 centimètres, et la séparation entre le pied droit et le pied gauche d'à peu près 10 centimètres. La pose du pied de derrière arrive à très peu de distance de celle du pied de devant. L'animal paraît avoir été voisin des Sauriens plutôt que des Batraciens ou des Chéloniens. Parmi les exemplaires, on remarquait plusieurs de ces fissures de retrait que produit la chaleur du soleil sur le limon, et en même temps des traces de gouttes de pluie avec indications d'écoulement des eaux sur une vase humide ; toutes circonstances confirmant cette opinion que les empreintes ont été laissées par des animaux à respiration aérienne.

En 1852, M. Dawson et moi, nous avons découvert les premiers débris osseux de reptiles dans le terrain houiller d'Amérique ; ils étaient engagés à l'intérieur de l'une de ces Sigillariées en position verticale qui sont si fréquentes dans la Nouvelle-Écosse. L'arbre avait environ 60 centimètres de diamètre, et se composait, comme à l'ordinaire, d'un cylindre extérieur d'écorce convertie en houille, et d'un axe intérieur de grès noir, ou plutôt d'un mélange solidifié de limon, de sable et de fragments de bois, le tout coloré par de la matière charbonneuse. Les fragments réduits à l'état charbonneux paraissaient être tombés au fond de l'arbre, devenu creux par la décomposition. Dans cette sorte de gangue se trouvaient disséminées la tête, les mâchoires et les vertèbres d'un reptile qui devait avoir eu environ 75 centimètres de long

(*Dendrerpeton Acadianum*, Owen). La même gangue nous a fourni une coquille (*Pupa*), le premier mollusque pulmoné qui ait été signalé dans la houille. D'après le docteur Wyman, de Boston, le reptile était voisin, par sa structure, du *Menobranchus* et du *Menopoma*, espèces de batraciens qui habitent de nos jours les rivières de l'Amérique du Nord. M. Owen a confirmé cette opinion, et, de plus, a signalé la ressemblance des plaques crâniennes avec celles de la tête de l'*Archegosaurus* et du *Labyrinthodon* (1). Quant à la manière dont l'animal a été introduit dans le creux de l'arbre, il est difficile de décider s'il y a pénétré à l'époque où le sommet de l'arbre était encore ouvert, ou bien s'il y a été entraîné avec le limon par une inondation.

Des traces de pas de deux reptiles d'inégale grosseur avaient été déjà observées par les docteurs Harding et Gesner, sur des dalles ondulées de l'étage houiller inférieur de la Nouvelle-Écosse; elles avaient évidemment été laissées par des quadrupèdes marchant sur un ancien rivage ou hors de l'eau; elles étaient exactement semblables à celles que laisse le *Menopoma* actuel. C'est en 1853 que M. Owen a fait connaître la première découverte de reptiles fossiles dans le terrain houiller d'Angleterre; l'année suivante, il a décrit un *Batracien sauroïde* de la famille des Labyrinthodons, que M. Dawson avait extrait du gisement de houille de Pictow, Nouvelle-Écosse.

Ainsi, en moins de dix ans (de 1844 à 1854), on a reconnu les squelettes ou les os de plus de sept reptiles carbonifères se rapportant à cinq genres différents, et cela indépendamment des nombreuses empreintes de pas de reptiles, dont quelques-unes sont évidemment trop larges pour avoir appartenu aux espèces dont on a trouvé les débris.

(1) *Geol. Quart. Journ.*, vol. IX, p. 58.

RARETÉ DES VERTÉBRÉS ET INVERTÉBRÉS A RESPIRATION AÉRIENNE DANS LE TERRAIN HOUILLER.

Jusqu'en 1844, les géologues s'accordaient pour admettre que, dans le terrain Houiller et dans toutes les roches antérieures au Permien, il n'existait pas d'animaux vertébrés plus élevés en organisation que les poissons. Aujourd'hui même, nous n'avons fait que de bien faibles progrès dans la connaissance de la faune terrestre de l'époque houillère ; car tous les reptiles dont il vient d'être question paraissent avoir été amphibies. Dans les déductions et les raisonnements paléontologiques, les preuves négatives doivent avoir une valeur réelle, mais, cette valeur, il nous est, quant à présent, absolument impossible de la déterminer de manière à pouvoir en faire usage. Aux États-Unis, on extrait annuellement du terrain Houiller 5 millions de tonnes de combustible, et cependant l'on n'a encore découvert aucun insecte fossile dans les roches carbonifères. Devons-nous en conclure que durant la période houillère les insectes manquèrent tout à fait dans les forêts de l'ancien monde? De même, parce qu'aucune coquille terrestre, *Helix*, *Bulimus*, *Pupa* ou *Clausilia*, parce qu'aucun mollusque pulmoné aquatique, soit *Lymnæa*, soit *Planorbis*, n'a été trouvé dans le terrain houiller d'Europe, sommes-nous en droit de dire que les coquilles terrestres n'ont commencé à vivre dans les latitudes européennes qu'après la période carbonifère?

La théorie du développement progressif rendrait facilement compte de l'absence des Chéloniens et des Sauriens, ou des Oiseaux et des Mammifères, dans le terrain Houiller, car on suppose que, à l'époque où ce terrain s'est formé, les conditions de la planète n'étaient pas encore propices au développement des créatures d'organisation plus élevée que celle des Batraciens. Mais cette théorie laisse tout à fait sans explication la rareté des invertébrés à cette époque, ou l'absence totale de plusieurs de leurs classes les plus importantes. Il ne faut pas

perdre de vue que les seize ou vingt individus d'insectes ou de coquilles terrestres signalés jusqu'à présent dans le terrain Houiller (et la plupart à une date très récente) surpassent du double, à peine, le nombre des reptiles carbonifères dont l'existence a été constatée dans ces derniers dix ans, d'après des os et des empreintes de pas. Et cependant, pour étudier les couches houillères et l'ancien sol au contact duquel elles se formèrent, ne sommes-nous pas dans des conditions autrement favorables que lorsqu'il s'agit de toute autre formation primaire, secondaire ou tertiaire?

Nous avons fouillé des centaines de sols remplis de racines fossiles; nous avons mis à découvert des milliers de troncs verticaux et de souches ligneuses gisant encore dans leur position primitive; nous avons extrait par millions de mètres cubes un combustible conservant encore sa structure végétale; et après tout, nous restons presque aussi peu éclairés relativement aux animaux à respiration aérienne de cette période que si la houille que nous avons extraite fût sortie des profondeurs de l'Océan. L'âge de la planète, ou ses conditions non favorables à l'existence des êtres organisés, ne sauraient donner le mot de l'énigme; car nous n'ignorons pas que, pendant l'époque même où la terre supportait une luxuriante végétation, les mers contemporaines nourrissaient des myriades d'êtres animés : des Articulés, des Mollusques, des Rayonnés et des Poissons. Nous devons donc nous efforcer de recueillir un plus grand nombre de faits, si nous tenons à résoudre un problème qui, dans l'état actuel de la science, ne peut qu'exciter notre étonnement; ne perdons pas de vue que les éléments de ce problème ont été profondément modifiés dans ces dix dernières années. Notre pauvreté en documents est due principalement à notre manque d'habileté comme collectionneurs et comme interprètes, mais elle doit être aussi attribuée à notre ignorance des lois qui gouvernent la fossilisation des animaux terrestres, quel que soit le rang que ces animaux occupent dans l'échelle de l'organisation.

CALCAIRE CARBONIFÈRE OU CALCAIRE DE MONTAGNE.

Nous avons dit que, dans le Sud de l'Angleterre et des Galles, cette formation succédait, suivant l'ordre descendant, au terrain Houiller, tandis que, dans le Nord et en Écosse, les calcaires marins alternaient avec le même terrain Houiller ou avec des schistes et grès contenant parfois des couches de houille. Lorsqu'il est composé exclusivement de carbonate de chaux, le Calcaire de Montagne est dépourvu de plantes terrestres, mais il est tout pénétré de débris marins; quelquefois même la roche n'est presque qu'un amas de coraux et de crinoïdes.

Les coraux ont, dans ce terrain, un grande importance, et surtout ceux en forme de coupe et à squelette massif et pierreux, lesquels présentent des particularités de structure qui permettent de les distinguer de toutes les espèces connues dans les couches postérieures au Permien. Il y aurait donc pour ces êtres deux types : l'un ancien ou *Paléozoïque*, et l'autre nouveau ou *Néozoïque*, si par ce dernier mot on désigne toutes les couches, depuis celles du Trias jusqu'aux plus modernes inclusivement. Les diagrammes suivants (fig. 514, 515) donneront une idée de ces types, et, bien qu'il faille souvent un naturaliste exercé pour reconnaître les points particuliers de structure que nous avons représentés, le géologue doit s'efforcer de les saisir, car un intérêt théorique considérable se rattache à leurs différences.

Nous verrons ultérieurement que les coraux les plus anciens présentent ce qu'on appelle une disposition quadripartite dans leurs plaques pierreuses ou *lamelles*, — parties du squelette qui supportent les organes de la reproduction. Le nombre des lamelles, dans le type paléozoïque, est de 4, 8, 16, etc.; tandis que dans le type plus nouveau, il est toujours de 6, 12, 24 ou autres multiples de 6; et ce caractère est constant, que les coraux soient une coupe simple comme

dans les figures 514 *a* et 515 *a*, ou des agrégations de coupes comme dans la figure 514 *c*.

Non-seulement les coraux primaires ou plus anciens sont tous génériquement et spécifiquement différents des secon-

FIG. 514. — Type paléozoïque de corail cupuliforme. Ordre *Zoantharia rugosa*, Milne Edwards et Jules Haime.

a. Section verticale du *Campophyllum flexuosum* (*Cyathophyllum*, Goldf.); demi-grandeur naturelle; du Devonien de l'Eifel. On voit les *lamelles* autour de l'intérieur de la coupe; les parois présentent un tissu celluleux; de larges lames transversales, appelées *tables*, partagent l'intérieur en chambres. — *b*. Disposition des *lamelles* dans le *Polycœlia profunda*, Germar, sp.; grandeur naturelle; du calcaire magnésien de Durham. Ce diagramme montre la disposition quadripartite des lamelles, caractéristique des coraux paléozoïques; les lamelles sont au nombre de quatre principales, et huit plus petites, le nombre total dans ce type étant toujours un multiple de quatre. — *c*. *Stauria astrææformis*, Milne Edwards. Jeune groupe de grandeur naturelle. Silurien Supérieur; Gothland. Les lamelles, dans chaque coupe, sont séparées par quatre bourrelets saillants en quatre groupes.

FIG. 515. — Type *Néozoïque* de Corail lamellifère cupuliforme. Ordre *Zoantharia aporosa*, Milne Edwards et J. Haime.

a. *Parasmilia centralis*, Mantell, sp. Coupe verticale, grandeur naturelle. Craie Supérieure, Gravesend. Dans ce type, les *lamelles* sont massives; il n'y a pas de lames transversales comme dans la figure 514. *a*. — *b*. *Cyathina Bowerbankii*, Edwards et Haime. Coupe transversale, amplifiée. Gault, Folkstone. Dans ce corail, les *lamelles* comptent par multiples de six. Les douze lamelles principales atteignent l'axe central ou columelle, et entre chaque paire on voit trois lamelles secondaires, en tout quarante-huit. Ne sont pas comptées les courtes lamelles intermédiaires qui partent de la columelle; elles sont appelées *pieux* (*pali*). — *c*. *Fungia patellaris* Lam. Récente, très jeune âge. Diagramme amplifié des six septum principaux et des six secondaires. La disposition sextuple est toujours plus manifeste dans le jeune âge que dans l'âge adulte.

daires, tertiaires ou actuels, mais encore ils appartiennent à des ordres distincts, bien que, par leurs formes extérieures, ils présentent quelquefois une telle analogie avec les genres actuels des récifs, qu'on a pu les confondre. Il faut donc se hâter d'autant moins de tirer des conclusions trop absolues de la comparaison des polypes modernes avec les paléozoïques, relativement au climat présumé et à la température des eaux des mers anciennes, que les deux groupes de zoophytes sont construits sur des types essentiellement différents. Si l'on tient compte du grand nombre des espèces

paléozoïques et néozoïques, on est étonné de voir combien est constante la règle que nous avons posée ci-dessus; jusqu'à présent, elle n'a souffert que deux exceptions : celle d'un corail quadriparti dans une formation néozoïque (la Crétacée), et celle d'un autre corail de la classe sextuple (une *Fungia*?) dans des roches paléozoïques (siluriennes).

Parmi les nombreux coraux lamelliformes du Calcaire de Montagne, deux espèces se trouvent largement et

FIG. 516. — *Lithostrotion basaltiforme*, Phil. sp. (*Lithostrotion striatum*, Fleming; *Astræa basaltiformis*, Conyb. et Phill.); Kendal, Irlande, Russie, Iowa, ouest du Mississipi, aux Etats-Unis.

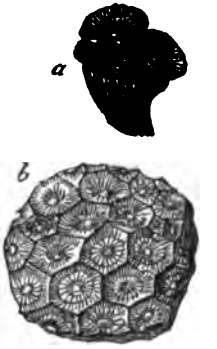


FIG. 517. — *Lonsdaleia floriformis* (Martin sp.), M. Edwards (*Lithostrotion floriforme* Fleming. *Strombodes*).
a. Jeune individu, à disque bourgeonné.
b. Portion d'une masse composée, en plein état de développement. Bristol, etc.; Russie

abondamment répandues sur toute la surface qui s'étend depuis les confins de la Russie orientale jusqu'aux îles Britanniques.

Ces deux espèces, en même temps que plusieurs autres appartenant aux genres *Zaphrentis*, *Amplexus*, *Cyathophyllum*, *Clysiophyllum*, *Syringopora* et *Michelinea* (1), forment un groupe très différent de tous ceux qui ont précédé ou suivi.

Comme Bryozoaires, dominent les *Fenestella* et *Polypora*, qui constituent souvent des couches considérables. Leurs frondes réticulées sont faciles à reconnaître.

(1) Pour les figures de ces coraux, voyez les monographies de la *Palæontographical Society*, 1852.

Les Crinoïdes abondent aussi dans le Calcaire de Montagne (fig. 518, 519).

Chez la plupart, la coupe ou bassin (fig. 519, *b*) est très développée comparativement aux bras, bien que ce ne soit

Fig. 518. — *Cyathocrinites planus*, Miller ; le corps et les bras. Calcaire de Montagne.

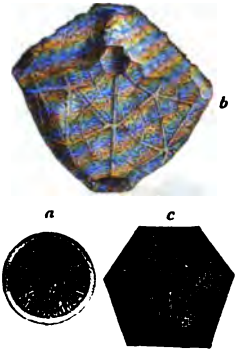


Fig. 519. — *Cyathocrinus caryocrinoides*, M' Coy.
a. Face d'une articulation de la tige. — *b*. Bassin du corps, appelé aussi calice ou coupe. — *c*. Une plaque du bassin.

pas le cas dans la figure 518. Les genres *Poteriocrinus*, *Cyathocrinus*, *Pentremites*, *Actinocrinus* et *Platycrinus* sont tous caractéristiques de la formation. D'autres Échinodermes y sont rares, les oursins par exemple ; ces derniers ont une structure complexe, et leur enveloppe présente un plus

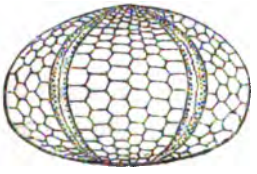


Fig. 520. — *Palæchinus gigas*, M'Coy, réduit ; Calcaire de Montagne, Irlande.

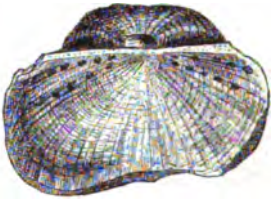


Fig. 521. — *Productus semi-reticulatus*. Martin, sp. (*P. antiquatus*, Sow.). Calcaire de Montagne ; Angleterre, Russie, les Andes, etc.

grand nombre de plaques qu'aucun des genres modernes du même groupe. Un seul genre, le *Palæchinus* (fig. 520), est analogue à l'*Echinus* actuel. Un autre genre, *Archæocidaris*, rappelle également le *Cidaris* de nos mers.

Les Mollusques sont représentés en majeure partie par des *Brachiopodes* (ou *Palliobranches*), lesquels abondent dans la formation et atteignent des dimensions considérables. Peut-être, parmi les plus caractéristiques de ces coquilles, devons-nous signaler les grandes espèces de *Productus*, telles que *P. giganteus*, *P. hemisphæricus*, *P. semireticulatus* (fig. 521) et *P. scabriculus*. On rencontre abondamment aussi de gros spirifères plissés, *Spirifer striatus*, *S. rotundatus* et *S. trigonalis* (fig. 522), en même temps que

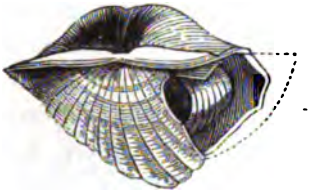


FIG. 522. — *Spirifer trigonalis*, Martin, sp. Calcaire de Montagne ; Derbyshire, etc.

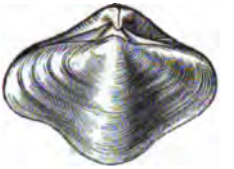


FIG. 523. — *Spirifer glaber*, Martin, sp. Calcaire de Montagne.

des espèces lisses, telles que le *Spirifer glaber* (fig. 523) avec ses nombreuses variétés.

Parmi les mollusques palliobranches, nous citerons la *Terebratula hastata*, non-seulement parce qu'elle se trouve largement répandue, mais aussi parce qu'elle conserve souvent encore les bandes colorées qui ornaient la coquille vivante (fig. 524). Ces bandes colorées se retrouvent dans

FIG. 524. — *Terebratula hastata*, Sow., montrant les bandes de couleur rayonnées. Calcaire de Montagne. Derbyshire, Irlande, Russie, etc.

FIG. 525. — *Aviculopecten sublobatus*, Phil. Calcaire de Montagne. Derbyshire, Yorkshire.

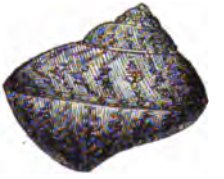


FIG. 526. — *Pleurotomaria carinata*, Sow. (*P. flammigera*, Phill.). Calcaire de Montagne. Derbyshire, etc.

plusieurs bivalves lamellibranches, telles que l'*Aviculopecten* (fig. 525) ; les lignes foncées alternent avec un fond clair.

Quelques bivalves spirales présentent aussi leur couleur originelle; elle est très distincte dans le *Pleurotomaria* (fig. 526) dont la surface porte des taches ondulées qui lui donnent une certaine ressemblance avec divers Trochus vivants.

Le seul fait de coquilles si anciennes conservées avec leurs couleurs est déjà fort remarquable par lui-même; M. Forbes en a tiré une importante conclusion géologique : suivant ce naturaliste, la profondeur des mers primitives où s'est déposé le Calcaire de Montagne n'aurait pas dépassé 90 mètres. En effet, dans les mers actuelles, les testacés colorés habitent rarement au-dessous de cette dernière profondeur; le plus grand nombre se rencontrent sur les points où les eaux très basses laissent passer une abondante lumière, à 3 ou 4 mètres au plus de la surface. Dans les mers Britanniques, certains genres sont toujours blancs ou incolores, au-dessous de 180 mètres, tandis que des individus appartenant aux mêmes espèces, recueillis dans des zones moins profondes, sont vivement bariolés ou bigarrés.

Cet argument tiré de la couleur des coquilles est très important, car les Rayonnés, les Articulés et les Mollusques de la période Carbonifère appartiennent presque tous à des genres que l'on ne trouve plus dans la création vivante, et sur les mœurs desquels on ne peut que difficilement former quelques conjectures.

Plusieurs mollusques carbonifères, tels qu'*Avicula*, *Nucula*, *Solemya* et *Lithodomus*, appartiennent sans aucun doute à des genres vivants; mais la plupart, bien que souvent rapportés à des types actuels tels qu'*Isocardia*, *Turritella* et *Buccinum*, représentent en réalité des formes qui paraissent avoir été anéanties vers la fin de l'époque paléozoïque. L'*Euomphalus* est une coquille univalve caractéristique de cette période. L'intérieur en est souvent divisé par chambres (fig. 527, *d*) dont les cloisons ne sont point perforées comme dans les coquilles foraminifères ou dans celles qui ont un siphon, telles que le *Nautile*. L'animal semble

s'être retiré successivement de la cavité préexistante, après l'avoir fermée, à chaque retraite, par une cloison. Le nombre des chambres est variable, et celles-ci manquent généralement dans le tour intérieur. L'animal de la *Turitella communis* actuelle se construit pareillement, à mesure qu'il avance en âge, des parois constituant autant de cloisons dans la coquille.

Fig. 527. — *Euomphalus pentangulatus*, Sow. Calcaire de Montagne.
a. Face supérieure. — *b*. Face inférieure ou ombilicale. — *c*. Bouche moins pentagonale chez les individus plus âgés. — *d*. Section polie montrant les chambres intérieures.

On rencontre dans le Calcaire de Montagne près de vingt espèces du genre *Bellerophon* (fig. 528), coquille non cloisonnée, comme les Argonautes vivants. Ce genre ne se représente plus dans les couches de date postérieure. On le regarde très généralement comme appartenant aux Hétéro-

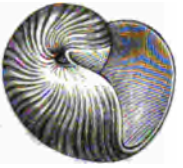


Fig. 528. — *Bellerophon costatus*, Sow. Calcaire de Montagne.

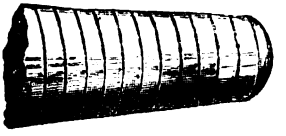


Fig. 529. — *Orthoceras lateralis*, Phillips; portion de la coquille. Calcaire de Montagne.

podes, et comme voisin de la *Carinaria;* mais quelques conchyliologistes pensent que c'était simplement un Céphalopode.

Les Céphalopodes carbonifères ne s'éloignent pas autant du type actuel (*Nautilus*) que les représentants siluriens, plus anciens, du même ordre; cependant ils fournissent quelques formes remarquables qui deviennent de plus en plus rares dans les couches postérieures à la houille. Parmi ces formes se distingue l'*Orthoceras*, coquille cloisonnée et munie de siphon, comme serait un Nautile droit et rétréci (fig. 529). Certaines espèces de ce genre mesurent plusieurs décimètres de long. La *Goniatite* est un autre genre presque voisin de l'*Ammonite*, dont elle diffère en ce que les lobes des cloisons sont dépourvus de dentelures ou crénelures latérales, et présentent des bords continus.

L'espèce que reproduit la figure 530 est répandue presque partout; elle montre admirablement la disposition en zigzag qui caractérise les lobes des cloisons.

Dans une autre espèce (fig. 531), les cloisons ne sont que légèrement ondulées et se rapprochent bien plus par leur

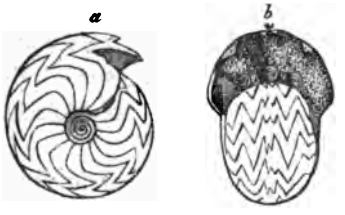


Fig. 530. — *Goniatites crenistria*, Phill. Calcaire de Montagne. Amérique du Nord, Angleterre, Allemagne, etc.
a, Face latérale. — *b*. Face frontale, montrant la bouche.

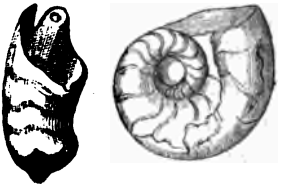


Fig. 531. — *Goniatites evolutus*, Phillips.
Calcaire de Montagne, Yorkshire.

forme de celles du Nautile. La position dorsale du siphon distingue néanmoins très nettement la Goniatite du Nautile, et prouve que la coquille appartenait à la famille des Ammonites dont quelques auteurs ne pensent pas qu'elle soit, en réalité, génériquement différente.

Poissons fossiles. — La distribution de ces fossiles dans le terrain dont il s'agit est très variable : ainsi M. de Ko-

ninck, l'éminent paléontologiste de Liége, n'a pu réunir dans sa nombreuse collection des fossiles du Calcaire de Montagne de Belgique, plus de quatre ou cinq exemples d'os ou de dents de poissons. Se fondant sur le caractère fourni en Belgique, cet auteur a dû conclure que la classe des poissons fut extrêmement rare dans les mers carbonifères, et pourtant les recherches faites dans d'autres pays ont conduit à un résultat tout à fait différent. Par exemple, il existe près de Clifton sur l'Avon un célèbre *lit à ossements* presque entièrement composé d'ichthyolites; on peut en dire autant des *lits à poissons* d'Armagh en Irlande. Ces lits sont composés principalement de dents appartenant à l'ordre des Placoïdes, et presque toutes roulées comme si elles eussent été transportées d'une grande distance. Quelques-unes sont tranchantes et pointues, comme les dents des requins ordinaires; celles du genre *Cladodus* sont dans ce cas. Mais la

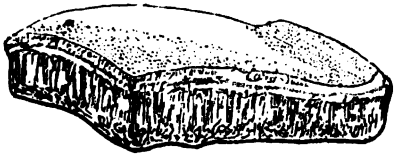


Fig. 532. — *Psammodus porosus*, Agass. Lit à ossements. Calcaire de Montagne. Bristol, Armagh.

plupart, celles du *Psammodus* et du *Cochliodus* en particulier, sont, de même que chez le *Cestracion* de Port-Jack-

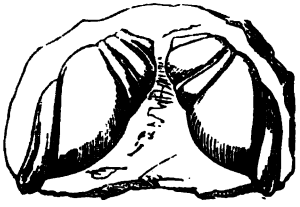


Fig. 533. — *Cochliodus contortus*, Agass. Lit à ossements. Calcaire de Montagne. Bristol, Armagh.

son (voy. ci-dessus, fig. 288, t. I, p. 389), massives, insérées au palais et propres à broyer (fig. 532, 533).

On compte dans le Calcaire de Montagne des îles Britanniques plus de soixante-dix autres espèces de poissons. Les os des nageoires de ces animaux sont assez communs à Armagh et à Bristol; ceux que l'on désigne sous le nom d'*Oracanthus* ont souvent des dimensions considérables. On rencontre aussi dans les mêmes gisements des poissons Ganoïdes tels qu'*Holoptychius*, mais ils sont beaucoup moins nombreux. Le grand *Megalichthys Hibberti* est répandu depuis les couches supérieures jusqu'aux couches tout à fait inférieures du terrain carbonifère.

Foraminifères. — Ce groupe important d'animaux, si abondamment représenté dans les couches des dernières périodes par les Nummulites et leurs nombreux congénères à formes exiguës, paraît limité dans le Calcaire de Montagne à un nombre très restreint d'espèces dont les individus sont extrêmement nombreux. Il a fourni les *Textilaria*, *Nodosaria*, *Endothyra* et *Fusulina* (fig. 534). Les deux premiers genres sont communs à cette période et à toutes celles qui l'ont suivie; le troisième commence à se montrer dans le Silurien Supérieur, mais il n'est pas encore connu au-dessus du Carbonifère; le quatrième (fig. 534) est spécial au Calcaire de Montagne et caractérise cette formation aux États-Unis, en Russie et dans l'Asie Mineure.

FIG. 534. — *Fusulina cylindrica*, d'Orb. Grosseur triple. Calcaire de Montagne.

COUCHES CONTEMPORAINES DU CALCAIRE DE MONTAGNE.

Dans les pays où le calcaire ne constitue pas la portion principale de la série Carbonifère Inférieure, cette formation présente des caractères tout à fait différents, par exemple dans les provinces Rhénanes de Prusse et dans le Hartz. Les schistes et les grès, appelés *Kiesel-schiefer* et Jeune Grauwacke (*Jungere Grauwacke*) par les Allemands, ont été rapportés, dans le principe, au groupe Devonien, mais aujourd'hui on sait avec certitude qu'ils appartiennent au *Carbonifère*

Inférieur. La coquille la plus habituelle des schistes carbonifères de cette série sur le continent et en Angleterre, est la *Posidonomya Becheri* (fig. 535). Quelques espèces bien

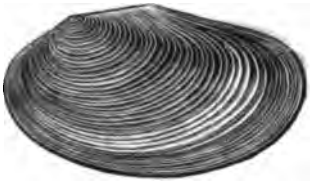


Fig. 535. — *Posidonomya Becheri*, Goldf. Carbonifère Inférieur.

connues du Calcaire de Montagne, les *Goniatites crenistria* (fig. 530) et *G. reticulatus*, se rencontrent aussi dans le Hartz. On trouve communément au sein des grès du même système des plantes fossiles telles que *Lepidodendron*, *Saginaria*, *Knorria*, *Calamites Suckovii* et *C. transitionis*, Göpp.; ces végétaux sont, les uns particuliers, et les autres spécifiquement identiques aux fossiles ordinaires du terrain houiller. La véritable position géologique des roches de la série au Hartz a été pour la première fois déterminée par MM. Murchison et Sedgwick, en 1840 (1).

CALCAIRE CARBONIFÈRE DANS L'AMÉRIQUE DU NORD.

La division inférieure du Terrain Houiller de la Nouvelle-Écosse contient, outre de larges masses de Gypse, quelques bandes de calcaire marin presque entièrement composé d'Encrines, et fournissant, sur quelques points, des coquilles de genres communs au Calcaire de Montagne d'Europe.

Aux États-Unis, le calcaire carbonifère gît au-dessous des couches qui produisent la houille, et bien qu'il soit peu développé vers les bords du bassin houiller des Alléghanys en Pennsylvanie, il se continue en Virginie et dans le Ténessée. C'est dans les bassins houillers de l'Ouest ou du Mississipi,

(1) *Trans. Geol. Soc.*, Londres, 2e série, vol. VI, p. 228.

dans le Kentucky, l'Indiana, l'Iowa, le Missouri et autres États occidentaux qu'il présente l'étendue la plus considérable (1). Il y atteint près de 120 mètres de puissance, et contient abondamment, comme en Europe, des coquilles appartenant aux genres *Productus* et *Spirifer*, avec des *Pentremites* et autres Crinoïdes, ainsi que des coraux. Parmi ces derniers, se rencontre communément le *Lithostrotion basaltiforme* ou *striatum* (fig. 516, p. 135), ou bien une autre espèce très voisine.

(1) Owen, *Geol. Survey of Wisconsin*, etc., 1852.

CHAPITRE XXVI.

VIEUX GRÈS ROUGE, OU GROUPE DEVONIEN.

Vieux Grès Rouge de la ceinture des Galles. — De l'Écosse et du Sud de l'Irlande. — Reptile fossile et traces de pas à Elgin. — Végétaux fossiles Devoniens à Kilkenny. — Ichthyolites de Clashbinnie. — Poissons, crustacés, etc. fossiles de Caithness et du Forfarshire. — Type lithologique particulier de Vieux Grès Rouge dans le Devon et le Cornouailles. — Du mot Devonien. — Débris organiques de caractère intermédiaire entre ceux du système Carbonifère et du système Silurien. — Série Devonienne en Angleterre et sur le continent. — Roches et fossiles des Devoniens Supérieur, Moyen, Inférieur. — Vieux Grès Rouge de Russie. — Couches Devoniennes aux États-Unis. — Récifs de Coraux aux Chutes de l'Ohio.

Nous avons établi que les couches carbonifères ont pour limite supérieure un système appelé *Nouveau Grès Rouge*, et pour limite inférieure un autre système appelé *Vieux Grès Rouge*. Ce dernier groupe doit son nom à cette circonstance que, dans le Herefordshire et en Écosse où il a été étudié pour la première fois, il se compose principalement de grès rouge, de schiste et de conglomérat. Ce n'est que plus tard qu'on l'a appelé *Devonien*, pour des motifs que nous expliquerons ultérieurement. Pendant plusieurs années il a été regardé comme très pauvre en débris organiques; et tel est véritablement son caractère sur de très larges surfaces où manque la roche calcaire, et où sa couleur est déterminée par l'oxyde rouge de fer.

Vieux Grès Rouge du Herefordshire, etc. — Dans les comtés d'Hereford, de Worcester, de Shrop et dans la Galles du Sud, cette formation atteint quelquefois une puissance de 2400 à 3000 mètres. Elle présente les divisions suivantes :

1° Conglomérat passant, à sa partie inférieure, à des grès et marnes d'un rouge chocolat ou verts.

2° Marne et Cornstone, c'est-à-dire marnes argileuses

tachetées de rouge et de vert, avec accidents irréguliers de calcaire impur, concrétionné, auquel on a donné le nom de *Cornstone;* avec ces roches se trouvent quelques lits de grès blanc. Dans le Cornstone, ainsi que dans les ardoises et marnes où se rencontre plus abondamment la matière calcaire, on trouve des débris de poissons des genres *Onchus* et *Cephalaspis*. On a recueilli plusieurs échantillons de ce dernier au sein des couches inférieures du Vieux Grès Rouge, dans la colline de May, Gloucestershire (1).

Vieux Grès Rouge d'Écosse et d'Irlande. — Dans le Sud des Grampians, comtés de Forfar, de Kincardine et de Fife, on peut diviser le Vieux Grès Rouge en trois groupes :

A. Grès jaune traversé de bandes de grès blanc.

B. Schiste rouge, grès avec cornstone, et, à la base, un conglomérat (nos 1, 2, 3; coupe, p. 79, t. I).

C. Grès tégulaire et grès à paver très micacés, contenant un faible mélange de carbonate de chaux (n° 4, p. 79, t. I).

Le membre supérieur, ou grès jaune A, existe à Dura Den, près de Cupar, dans le Fife, où il est immédiatement recouvert par la houille. Il renferme quantité de poissons des genres *Pterichthys* (pour le genre, voyez fig. 550), *Pamphractus*, *Glyptopomus*, *Holoptychius* et autres.

Dans la région sud du Moray Firth près d'Elgin, existent certains grès jaunes et blancs que MM. Sedgwick et Murchison ont depuis longtemps classés parmi les couches supérieures du Vieux Grès Rouge; on les regarde généralement comme les équivalents du Grès Jaune de Fife. Ils contiennent de larges écailles rhomboïdales d'un poisson auquel Agassiz a donné le nom de *Stagonolepis Robertsoni*, et qu'il a rapporté aux Diptériens, famille très caractéristique du Vieux Grès Rouge. Les écailles du *Stagonolepis*, les seules portions de l'animal que l'on ait trouvées jusqu'à présent, ressemblent tellement, par la forme et les reliefs, à celles du *Glyptopomus*, qu'il serait permis peut-être de les rapporter au même genre. Le

(1) Murchison, *Siluria*, p. 245.

Glyptopomus n'a été, jusqu'ici, observé dans aucun autre terrain que le Devonien.

Le grès légèrement coloré du Morayshire passe, vers ses assises inférieures, à une série concordante de couches remplies de fossiles qui appartiennent certainement au Vieux

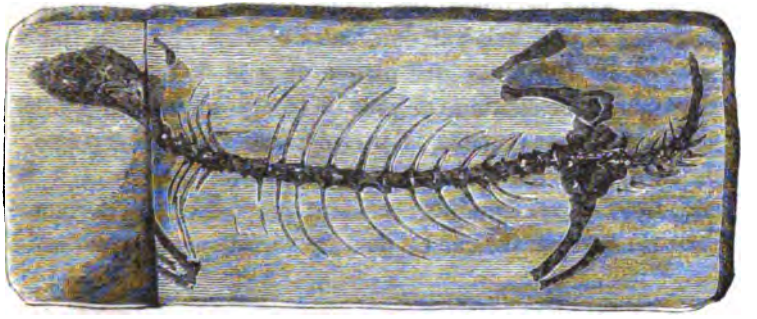


FIG. 536. — *Telerpeton Elginense* (Mantell). Grandeur naturelle.
Reptile du Vieux Grès Rouge d'Elgin, comté de Moray.

Grès Rouge. J'insiste particulièrement sur l'âge de cette roche, parce qu'elle a fourni récemment (1851) des os d'un reptile, le premier de la classe qui ait été découvert dans une couche aussi ancienne. Le squelette représenté ci-dessus (fig. 536) a été extrait d'une carrière de Cummingstone, près d'Elgin. Il mesure 11 centimètres de longueur; mais une portion de la queue est cachée dans la roche, et si la totalité était visible, peut-être la longueur de l'animal dépasserait-elle 15 centimètres. La gangue est un grès blanchâtre, à grains fins, avec ciment de carbonate de chaux. Bien que la plupart des ossements, moins toutefois ceux de la tête, soient décomposés, on distingue encore parfaitement leur position naturelle. Le docteur Mantell en a fait le modèle en relief d'après les empreintes creuses qui existaient dans la roche. On y voit de légères indications de petites dents coniques au nombre de vingt-quatre paires. Les côtes sont très courtes et grêles. Le bassin est placé après la vingt-quatrième vertèbre, précisément comme chez l'Iguane vivante. En somme, l'animal aurait réuni différents caractères appar-

tenant aux Lacertiens et aux Batraciens. Le docteur Mantell n'a pas pu décider si le Télerpeton fut un petit Lézard terrestre ou un Batracien d'eau douce ressemblant aux Salamandres aquatiques.

Bien que ce fossile soit le plus ancien quadrupède dont on ait encore découvert des débris osseux, il ne paraît pas avoir été le seul existant dans cette contrée. En effet, on a observé en 1850, sur une plaque de grès de la même carrière, une série continue de plus de trente-quatre empreintes de pas d'un quadrupède. J'ai représenté une courte portion de cette piste dont la direction paraît avoir été de A à B (fig. 537). Les empreintes existent par paires, et forment deux rangées parallèles. Le pied de derrière mesure 25 mil-

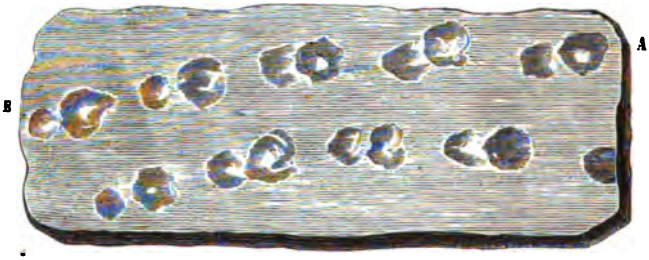


Fig. 537. — 1/6e de grandeur naturelle.
Piste d'un quadrupède (Chélonien ?) du Vieux Grès Rouge de Cummingstone, près d'Elgin, comté de Moray. — Capitaine Brickenden.

limètres de diamètre ; il est plus large que le pied de devant dans la proportion de 4 à 3. La longueur de chaque enjambée paraît avoir été d'environ 40 centimètres. Les empreintes ressemblent à celles que laissent les tortues en marchant sur le sable ; si la comparaison est juste, on aurait la seule indication connue jusqu'à présent d'un Chélonien plus ancien que le Trias.

J'ai déjà mentionné des traces de pas que les géologues américains rapportent à plusieurs espèces de reptiles à respiration aérienne ; elles ont été découvertes sur le versant oriental des Alleghanys, en Pennsylvanie, dans un Schiste Rouge très ancien, que l'on ne sait encore si l'on doit consi-

dérer comme le membre inférieur du Carbonifère, ou bien comme la portion supérieure du Devonien. Ces empreintes démontrent tout au moins que certains quadrupèdes, plus grands qu'aucun de ceux indiqués par les ossements des Roches Carbonifères, ont existé à l'époque où se formait l'ancien Schiste Rouge, habituellement nommé aux États-Unis *infra-carbonifère.*

En Irlande, les assises supérieures du vieux Grès Rouge, ou Grès Jaune de Kilkenny, contiennent des poissons se rapportant aux genres *Coccosteus* et *Dendrodus* caractéristiques de cette période ; elles fournissent aussi des plantes spécifiquement distinctes de toutes celles que l'on connaît dans le terrain de la houille, mais que l'on peut rapporter aux genres

FIG. 538. — Tige de *Lepidodendron*, aplatie au point que la disposition en quinconce des écailles a disparu. Devonien Supér., Kilkenny.

FIG. 539. — *Cyclopteris Hibernica*, Forbes. Devonien Supérieur, Kilkenny.

de ce terrain : tels sont les *Lepidodendron* et *Cyclopteris* (fig. 538 et 539). Dans quelques échantillons, la tige de ce dernier genre présente de larges cicatrices d'insertion ; elle a donc pu appartenir à des fougères arborescentes.

Dans les mêmes assises, on a recueilli des coquilles dont la forme rappelle le genre Anodonte, et qui ont probablement vécu dans l'eau douce. Quelques géologues, il est vrai, inclinent à classer ces couches parmi celles qui forment la base de la série carbonifère, avec le Grès Jaune de M. Griffiths

(p. 66, t. II), mais les Ichthyolites et les plantes à caractère spécifique particulier que l'on y rencontre semblent militer victorieusement en faveur de la première opinion.

B. (Tableau, p. 146, t. II).—La division moyenne du Vieux Grès Rouge, telle qu'on l'observe au Sud des Grampians, comprend, en premier lieu, des Schistes et Grès Rouges, avec Cornstone, lesquels occupent la vallée de Strathmore suivant sa longueur, de Stonehaven au Firth de la Clyde; en second lieu, un Conglomérat que l'on rencontre au pied des Grampians et sur le versant des collines de Sidlaw, comme on le voit dans la coupe p. 79, t. I, nos 1, 2 et 3. La portion supérieure de cette division n° 1, c'est-à-dire les couches qui dans le comté de Fife sont recouvertes par le Grès Jaune, fournit des écailles d'un grand poisson ganoïde du genre *Holoptychius*, recueillies pour la première fois à Clashbinnie, près de Perth. On a découvert postérieurement, dans le même gisement, un échantillon entier du même

FIG. 540.— Écaille d'*Holoptychius nobilissimus*, Agass., Clashbinnie. Grandeur naturelle.

genre, présentant plus de 60 centimètres de long; quelques-unes des écailles (fig. 540) ne mesuraient pas moins de 75 millimètres de long sur 62 millimètres de large.

C. (Tableau, p. 146, t. II). — La troisième division dans le Sud des Grampians consiste en pierre à paver (*paving stone*) et ardoises grises, avec schistes rouges et gris. Ces couches gisent au-dessous d'une masse épaisse de conglomérat. Elles ont fourni plusieurs poissons remarquables du genre

qu'Agassiz a nommé *Cephalaspis* ou *tête-bouclier*, d'après le singulier écusson qui recouvre la tête (fig. 541). On a

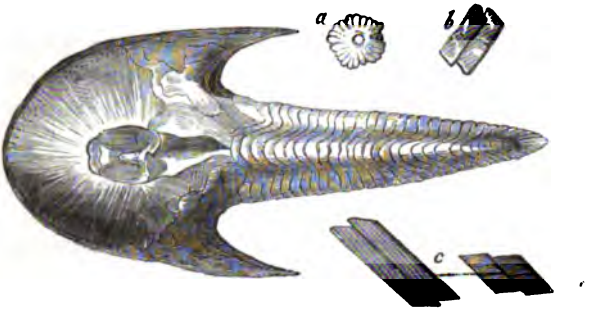


FIG. 541. — *Cephalaspis Lyellii*, Agass. Longueur, 0m,16. D'après un échantillon de ma collection trouvé à Glammiss, Forfarshire; voy. autres fig., Agass., vol. II, tab. 1 *a* et 1 *b*.
a. L'une des écailles particulières dont la tête est recouverte, à l'état de complète conservation. Ces écailles manquent généralement, comme dans l'échantillon ci-dessus figuré. — *b*, *c*. Écailles de différentes places du corps, et de la queue.

souvent confondu ce poisson avec un Trilobite de la division des *Asaphus*.

A Carmylie, Forfarshire, dans la même roche bien connue sous le nom de *pierre à paver d'Arbroath*, on découvre de temps à autre des débris d'un gros crustacé. Les car-

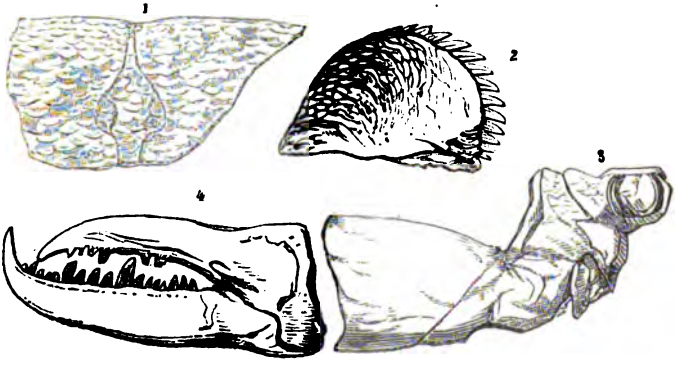


FIG. 542. — Portions du *Pterygotus anglicus*, Agass.
1. Portion moyenne de la nuque sculptée sous forme d'écailles. — 2. Portion de la base large de l'un des pieds antérieurs, avec ses fortes épines ou dents qui servaient d'organes de mastication. — 3. Portion voisine de l'une des grandes pinces antérieures. — 4. Pince terminale avec ses deux branches en forme de scie. (Voy. Agass., *Poiss. Foss. du Vieux Grès Rouge*, pl. A.)
1 et 2 sont de grandeur naturelle; 3 et 4 sont réduits de moitié.]

riers écossais donnent à ce fossile le nom de *Séraphin*, d'après l'ornement en forme d'aile ou de plume qui garnit la partie postérieure de la tête, partie qui se retrouve le plus fréquemment dans la roche. Agassiz avait d'abord rapporté quelques-uns de ces fragments à la classe des poissons, mais depuis il a été le premier à reconnaître leur véritable nature, et dans la planche n° 1 de ses *Poissons Fossiles du Vieux Grès Rouge*, il a figuré les parties de l'animal sur lesquelles il a cru devoir fonder son opinion.

La carapace de ce crustacé, dont la taille égalait au moins celle des plus grands crabes, était munie en arrière de courtes cornes, et, vers le milieu, de deux grands yeux, comme chez l'*Eurypterus* que l'on trouve dans la formation houillère de Glasgow. Le corps se composait de dix ou onze anneaux mobiles, et se terminait par une queue en pointe ovoïdale. La surface entière était recouverte de ces sortes

Fig. 543. — *Pterygotus problematicus*, Agass.; restauré par M. M'Coy.

d'écailles que nous avons signalées comme ornant la tête. M. M'Coy a eu la bonté de me communiquer une figure de l'animal complétement restauré (fig. 543). Ce savant pense qu'il devait être très voisin du grand *Eurypterus*, si même il n'était du même genre, et de plus qu'il appartenait à la même famille que le Limule vivant.

Sir R. Murchison doute que les couches grises (1) à *Pterygotus* de Forfarshire doivent être rapportées au Silurien Supérieur ou bien au Ludlow Supérieur ; mais comme, à Balrudderie, elles sont associées à de nombreux échantillons de *Cephalaspis* très probablement appartenant à deux espèces, je pense qu'elles constituent une division du Vieux Grès Rouge, peut-être moins ancienne que les Schistes bitumineux (*b*, p. 156, t. II) du Nord de l'Écosse.

Les mêmes pierres à paver et ardoises tégulaires grossières qui fournissent le *Cephalaspis* et le *Pterygotus*, dans les comtés de Forfar et de Kincardine, contiennent des restes de plantes herbacées que le géologue peut utiliser pour identifier les couches correspondantes, même sur des points très éloignés. On ignore si ces plantes sont des Fucoïdes, comme je l'avais d'abord pensé, ou des plantes d'eau douce *fluviales*, comme certains botanistes le prétendent. Ces restes sont souvent accompagnés de fossiles auxquels les carriers donnent le nom de *baies* (*berries*), et qui rappellent par leur forme une mûre ou une framboise comprimée (fig. 544 et 545). Quelques fossiles de ce genre

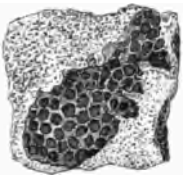


FIG. 544. — *Parka decipiens*, Fleming. Grès des couches inférieures du Vieux Grès Rouge. Ley's Mill, Forfarshire.

FIG. 545. — *Parka decipiens*, Fleming. Schiste des couches inférieures du Vieux Grès Rouge, Fife.

ont été d'abord observés en 1828 dans un grès gris du même âge que celui du Forfarshire, à Parkhill près de Newburg, au Nord de Fife. J'en ai plus tard moi-même rencontré au Nord de Strathmore, dans le schiste vertical situé au-dessous du conglomérat, et dans les mêmes couches à Sidlaw

(1) *Siluria*, p. 247.

Hills, sur tous les points indiqués par le chiffre 4 dans la coupe, page 79, tome I.

Le docteur Fleming a comparé ces fossiles aux panicules d'un *Juncus* ou aux chatons d'un *Sparganium* ou de quelque autre plante voisine, et son opinion a été confirmée par la découverte faite à Balrudderie d'un échantillon à surface inférieure plus lisse que la supérieure, et faisant voir la place présumée de l'attache d'un pédoncule. J'ai trouvé dans les grès du Forfarshire quelques échantillons qui n'étaient associés à aucune feuille (fig. 544) ; ils montraient la plus grande ressemblance avec le frai d'une *Natica* récente (fig. 546) dont les œufs auraient été déposés dans une couche mince de sable, et auraient acquis, par leur pression réciproque, une forme polygonale ; mais comme on n'a découvert aucune coquille de gastéropode dans la même formation, le *Parka* n'a probablement aucun rapport avec cette classe d'êtres organisés.

FIG. 546. — Portion de frai d'une espèce de *Natica* d'Angleterre.

Frappé de la ressemblance de l'un de mes échantillons (fig. 547) avec une petite agglomération d'œufs desséchés

FIG. 547. — Fossile. Vieux Grès Rouge.

Plaque de Vieux Grès Rouge, du Forfarshire, avec corps ressemblant à des œufs de Batracien.

a. OEufs pleins (?) à l'état charbonneux.
b. Cellules des œufs (?) vides.

FIG. 548. — Récent.

OEufs de la grenouille (*Rana temporaria*), à un état charbonneux, d'un étang desséché de Clapham Common.

a. Les œufs pleins. — *b*. Section transverse de la masse montrant la forme des cellules.

de la grenouille commune d'Angleterre, qu'il avait extraite, noire et charbonneuse (fig. 548), du limon d'un étang près de Londres, feu le docteur Mantell a cru devoir attribuer le fossile à un Batracien. M. Newport a partagé cette opinion;

il a pensé de plus que les fossiles plus gros et plus circulaires (fig. 549) que j'avais recueillis dans le schiste du même terrain (Vieux Grès Rouge), et qui s'étaient présentés,

FIG. 549. — Schiste du Vieux Grès Rouge, ou Devonien du comté de Forfar, avec empreintes de plantes et œufs de Batraciens? .
a. Deux paires d'œufs (?) ressemblant à ceux des grandes Salamandres ou Tritons, sur le même feuillet de la roche. — *b*, *b*. OEufs détachés ? — *c*. Cellules d'œufs (?) de grenouille, ou *Ranina*.

solitaires ou par paires, fixés aux feuilles des plantes, pouvaient bien être les œufs de quelque Triton ou Salamandre gigantesque.

L'absence générale de débris de reptiles dans les couches de la période Devonienne s'oppose fortement, aux yeux de bien des géologues, à cette manière de voir.

Vieux Grès Rouge du Nord de l'Écosse. — La totalité de la région septentrionale de l'Écosse, depuis le cap Wrath jusqu'au versant méridional des Grampians, a été parfaitement décrite par M. Hugh Miller; elle se compose d'un noyau de granite, gneiss et autres roches hypogènes, qui paraît comme enveloppé d'un manteau de grès (1). Peut-être avant l'apparition des Grampians, les assises du Vieux Grès Rouge dont est formé ce manteau ont-elles été continues sur toute l'étendue qu'occupe aujourd'hui la grande chaîne; en effet, une bande de grès suit la ligne de la Moray Frith très loin à l'intérieur de la grande vallée Calédonienne, et l'on rencontre, sur plusieurs points, des collines détachées de cette roche ainsi que des lambeaux en forme d'îlots. La même roche recouvre aussi d'une calotte les sommités

(1) *Old Red Sandstone*, 1841.

les plus élevées du comté de Sutherland, et présente dans le Morayshire des sortes d'oasis au milieu des roches granitiques de Strathspey. Sur la côte occidentale du Ross-shire, le Vieux Grès Rouge constitue ces trois immenses collines isolées que nous avons décrites (p. 108, t. I), où des couches horizontales de grès, épaisses de 900 mètres, reposent en stratification discordante sur un gneiss, attestant ainsi l'immense dénudation dont cette contrée a été autrefois le théâtre.

Le Vieux Grès Rouge du Nord des Grampians diffère considérablement par son caractère minéralogique de celui du Sud de la même chaîne, spécialement quant aux divisions moyenne et inférieure. Nous avons déjà classé, A (p. 146, t. II) la portion supérieure qui consiste en grès légèrement colorés, et contient le *Telerpeton* d'Elgin; nous en avons fait un équivalent du grès jaune de Fife. Cette portion supérieure passe, vers sa base, à des grès et conglomérats rouges, variés, qui correspondent peut-être aux lits désignés B, dans la même coupe, page 146, t. II. Vient ensuite la *formation moyenne*, de M. Hugh Miller, composée d'un grès mince, fissile et gris, qui a fourni dans le comté de Moray une espèce de *Cephalaspis;* mais on ne saurait décider encore si ces lits sont contemporains de la pierre à paver d'Arbroath (C, Tableau, p. 146, t. II).

A la division précédente succède la *division inférieure* de M. Hugh Miller; celle-ci comprend :

a. Grès rouges et variés.
b. Schistes bitumineux.
c. Grès grossier.
d. Grand conglomérat.

Les schistes *b* ont fourni dans les comtés de Banff, Nairn, Moray, Cromarty, Caithness et Orkney, une grande quantité de poissons appartenant aux genres *Pterichthys* (fig. 550), *Coccosteus*, *Diplopterus*, *Dipterus*, *Cheiracanthus*, *Asterolepis* et autres, décrits par Agassiz.

On a trouvé dans cette division inférieure du Vieux Grès

Rouge cinq espèces de *Pterichthys*. Les appendices en forme d'ailes, d'où ce genre a tiré son nom, avaient été d'abord considérés par Miller comme des rames (nageoires) semblables à celles des tortues ; mais Agassiz en a fait des

FIG. 550. — *Pterichthys*, Agass.; face supérieure montrant la bouche. Restauré par H. Miller (1).

armes défensives analogues aux épines occipitales du *Cottus gobio*, et, pour ce naturaliste, la queue seule aurait été l'organe du mouvement. Les genres *Dipterus* et *Diplopterus* ont été ainsi nommés à cause de la disposition de leurs nageoires dorsales qui représentent comme deux paires d'ailes. Ils sont munis d'écailles osseuses et émaillées.

L'*Asterolepis* était un poisson ganoïde à colossales dimensions. L'*Ast. Asmusii*, Eichwald, espèce caractéristique du Vieux Grès Rouge de Russie et d'Écosse, atteignait 6 à 9 mètres de long. Son corps était protégé par une forte armure osseuse, garnie de tubercules en forme d'étoiles ; mais son squelette était cartilagineux. La bouche était munie de deux rangées de dents, les extérieures petites et de la forme ordinaire aux dents de poissons, les intérieures plus grosses et présentant le caractère de celles des reptiles (2). On ren-

(1) *Old Red Sandstone*, pl. 1, fig. 1. La description de ce poisson par Miller est très claire et très correcte.

(2) *Footprints of the Creator*, par Hugh Miller.

contre aussi l'*Asterolepis* dans les roches devoniennes de l'Amérique du Nord, au niveau de la division inférieure du Vieux Grès Rouge. M. Hugh Miller a découvert également, dans cette division, des bois de conifères avec leurs rayons médullaires bien conservés (1). C'est le plus ancien exemple connu de l'existence d'un végétal aussi élevé en organisation, dans une roche d'une telle antiquité.

Devon Méridional et Cornouailles. — Du mot Devonien. — En 1837, on découvrit qu'une grande partie des couches schisteuses et calcarifères du Devon Méridional et du Cornouailles, d'abord rapportées à la série de *transition* ou silurienne, appartenaient en réalité à la période du Vieux Grès Rouge. M. Lonsdale, ayant eu l'occasion d'examiner les fossiles du Devonshire Méridional, reconnut que quelques-uns avaient de l'affinité avec ceux du groupe carbonifère, et d'autres avec ceux du silurien, tandis que le reste ne se rapportait exactement à aucun de ces systèmes; l'ensemble montrait un caractère mixte, particulier. Cependant ces seules observations paléontologiques ne nous auraient point permis d'assigner avec exactitude aux roches schisteuses et calcaires du Devon Méridional leur véritable place dans la série géologique, si MM. Sedgwick et Murchison n'avaient découvert que les schistes à anthracite du Devon Septentrional appartiennent au terrain Houiller, et non, comme l'avaient précédemment pensé les géologues, à la période de *transition*.

Comme les couches du Devon Méridional sont beaucoup plus riches en débris organiques que les grès rouges de date contemporaine du Herefordshire et de l'Écosse, on a proposé le nom nouveau de *système Devonien* pour remplacer celui de Vieux Grès Rouge.

L'ensemble des fossiles montre une connexion extrêmement étroite entre la paléontologie du groupe Silurien et celle du groupe Carbonifère; cette connexion se manifeste d'une manière remarquable pour les *genres* soit de coraux,

(1) *Footprints of the Creator*, par Hugh Miller.

soit de coquilles. Quant aux *espèces*, elles sont ordinairement différentes, excepté dans le groupe supérieur.

Les roches de ce groupe, dans le Devon Méridional, se composent en grande partie de schistes verts, chloritiques, alternant avec des schistes et grès quartzeux. Çà et là interviennent des schistes calcarifères avec calcaires bleus cristallins, et, sur quelques points, des conglomérats qui passent à un grès rouge. Mais la série entière a été profondément altérée et disloquée par l'intrusion du granit de Dartmoor et par celle d'autres roches ignées.

Dans le Devon Septentrional, le groupe Devonien n'a pas subi d'aussi grands changements, et montre très clairement ses rapports avec les roches Carbonifères qui le surmontent. On remarque la série suivante dans la coupe qui se présente le long de la côte, sur le canal de Bristol, entre Barnstaple et le North Foreland (1).

LIBRARY OF THE UNIVERSITY

SÉRIE DEVONIENNE DANS LE DEVON SEPTENTRIONAL.

Supérieur...	1.	*a.* Schistes bruns, calcarifères, avec fossiles dont plusieurs sont communs au groupe carbonifère. (Barnstaple, Pilton, etc.) *b.* Grès brun et jaune, avec coquilles et plantes terrestres, *Stigmaria*, *Knorria* et autres. (Baggy Point, Marwood, etc.)
Moyen.....	2.	Grès durs, gris et rougeâtres, et ardoises micacées, dépourvues de fossiles, reposant sur des schistes tendres, verdâtres, d'une épaisseur considérable. (Morte Bay, Bull Point, etc.)
	3.	Schistes calcarifères, avec huit ou neuf bandes calcaires, remplis de coquilles et de coraux semblables à ceux du calcaire de Plymouth. (Combe Martin, Ilfracombe Harbour, etc.
Inférieur. ..	4.	Grès durs, verdâtres, rouges et pourpres ; fossiles accidentels, *Spirifer*, etc. (Linton, North Foreland, etc.)
	5.	Schistes chloriteux, tendres, et partiellement des grès ; *Orthis*, *Spirifer*, et quelques coraux. (Valley of Rocks, Lynmouth, etc.)

Les couches qui se succèdent dans cette coupe ont été comparées à celles du Devon Méridional et du Cornouailles

(1) Sedgwick et Murchison, *Trans. Geol. Soc.*, nouvelle série, vol. V, p. 644. — De la Bèche, *Geol. Rep. Devon and Cornwall*, pl. 3. — Murchison, *Siluria*, p. 256.

par les auteurs du système *Devonien* et par d'autres observateurs. M. Sedgwick en a fait récemment l'objet d'un nouvel examen plus attentif (1). Des géologues d'Angleterre ou du continent les ont successivement identifiées avec celles de la série Devonienne de France, de Belgique, des Provinces Rhénanes, du centre de l'Allemagne et de l'Amérique (2). Je traiterai d'abord des principales sous-divisions établies en Europe.

ROCHES DEVONIENNES SUPÉRIEURES.

Les schistes et grès de Barnstaple (n° 1 *a*, *b*, de la coupe précédente) sont représentés dans le Cornouailles par les

Fig. 551. — *Spirifer disjunctus*, Sow. Syn., *Sp. Verneuilii*, Murch. Devonien Supérieur, Boulogne.

calcaires et schistes de Peterwyn, groupe qui affleure pareillement de dessous les couches Carbonifères (Culm

Fig. 552.— *Clymenia linearis*, Munster. Peterwyn, Cornouailles; Elbersreuth, Bavière.

Fig. 553. *Cyprinida serrato-striata*, Sandberger. Weilburg, etc.; Nassau, Saxe, Belgique.

Measures), et constitue le groupe de *Peterwyn* du Prof. Sedgwick. Ces roches contiennent le *Spirifer disjunctus*,

(1) *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. VIII, p. 1 et suiv.

(2) Dr Fridolin Sandberger, *Sur les Roches Devoniennes du Nassau (Geol. Verhalt. Nassau)*. — Fried. A. Roemer, *Sur les Roches Devoniennes du Hartz*. — Dunker et von Meyer, *Palæontographica*, 3e vol., part. 1.

Sow. (*S. Verneuilii*, Murch.) (fig. 551), fossile répandu sur toute l'Europe, et que l'on trouve dans l'Asie Mineure et en Chine. Parmi plusieurs autres fossiles, le *Clymenia linearis* (fig. 552) et le petit crustacé *Cyprinida serrato-striata* (fig. 553) sont si caractéristiques de ces roches supérieures, en Belgique, dans les provinces Rhénanes, dans le Hartz, en Saxe et en Silésie, que les couches de la division sont désignées en Allemagne sous les noms de *Clymenien-Kalk* et de *Cypridinen-Schiefer* (1).

Avec ces fossiles on rencontre, en Angleterre et sur le continent, de nombreuses *Goniatites* (*G. subsulcatus* Münster), et autres espèces. En Allemagne, les Goniatites sont ordinairement confinées dans des couches particulières ; c'est ce qu'on peut observer à Oberscheld, ainsi qu'à Couvin (Belgique), etc. Les Trilobites ne sont pas rares dans le Cornouailles, ni dans le Devon septentrional ; ils se rapportent principalement à des espèces de *Phacops* (fig. 585) ; mais dans les calcaires Devoniens supérieurs du Fichtelgebirge, par exemple à Elbersreuth en Bavière, on trouve, répandus en grand nombre, des genres et espèces qui jamais ne se rencontrent plus haut dans la série, ou ne réapparaissent dans aucune partie du calcaire carbonifère.

DEVONIEN MOYEN.

La série non fossilifère (n° 2, p. 159, t. II) du Devon septentrional, et les couches calcaires d'Ilfracombe (n° 3), correspondent aux groupes du *Devon méridional* auxquels M. Sedgwick a donné les noms de *Série de Darmouth et de Plymouth*, et qui forment la portion véritablement type du système Devonien. Cette portion comprend les énormes calcaires de Plymouth et de Torbay, calcaires remplis de coquilles, de trilobites et de coraux. Une vaste accumulation d'ardoises et de schistes, toute pénétrée des mêmes corps organisés, occupe

(1) Murchison, *Siluria*, chapitres X, XIV et XV.

la presque totalité de la partie Sud du Devonshire et une grande portion du Cornouailles. Parmi les coraux, on cite les genres *Favosites*, *Heliolites* et *Cyathophyllum*. Ce dernier abonde également dans les systèmes silurien et carbonifère ; les deux premiers sont fréquents dans les roches siluriennes. Quelques espèces sont communes aux groupes Devonien et Silurien, par exemple le *Favosites polymorpha* (fig. 554), l'un des fossiles les plus ordinaires du Devonshire.

FIG. 554. — *Favosites polymorpha*, Goldf. Sud-Devon. Échantillon poli.
a. Portion grossie, pour montrer les pores.

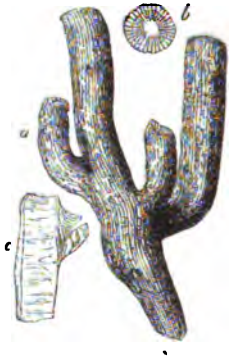


FIG. 555. — *Cyathophyllum cæspitosum*, Goldf. Plymouth.
b Étoile terminale. — *c*. Coupe en travers, montrant les plaques superposées, et portion d'une autre branche.

Les *Cyathophyllum cæspitosum* (fig. 555) et *Heliolites pyriformis* (fig. 556) principalement sont caractéristiques ; il en

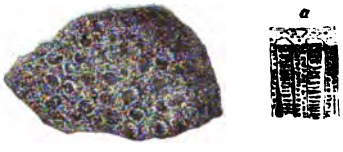


FIG. 556. — *Heliolites porosa*, Goldf., sp. *Porites pyriformis*, Lonsd.
a. Portion grossie. Devonien Moyen, Torquay, Plymouth, Eifel.

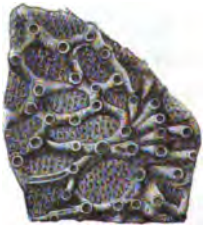


FIG. 557. — *Aulopora serpens*, Goldf.
(Base de jeune *Syringopora*, Milne Edw. et Haime.)

est de même d'une autre espèce très commune, l'*Aulopora serpens* (fig. 557), qui, pendant le jeune âge, adhère à la

surface des coraux et des coquilles, comme nous l'avons figurée ici, se développe postérieurement suivant la direction verticale, et devient un amas de tubes reliés par de petits appendices. Dans cet état, le polypier a paru constituer un corail différent, et on lui a donné le nom de *Syringopora*.

A ces fossiles se trouvent associés plusieurs crinoïdes dont quelques-uns, par exemple le *Cupressocrinites*, diffèrent génériquement de ceux du Calcaire Carbonifère. Les mollusques ne sont pas moins caractéristiques, et parmi eux nous citerons le genre *Stringocephalus* (fig. 558), que l'on

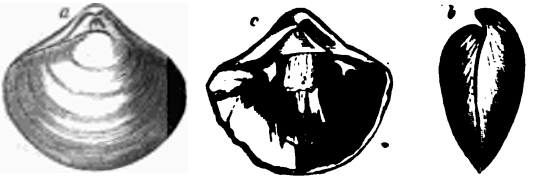


FIG. 558. — *Stringocephalus Burtini*, Defr. (*Terebratula porrecta*, Sow.); Eifel; Sud-Devon.

a. Valves unies.— *b*. Les mêmes, vues de côté. — *c*. Intérieur d'une valve plus large, montrant l'épaisse cloison et une partie de la grosse saillie qui se projette de son extrémité supérieure et tout à fait en travers de la coquille.

peut considérer comme exclusivement Devonien. Plusieurs coquilles de Brachiopodes du genre *Spirifer* et autres abon-

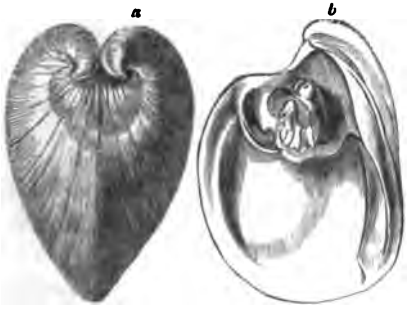


FIG. 559. — *Megalodon cucullatus*, Sow.; Eifel; Bradley, Sud-Devon.

a. Les valves unies. — *b*. Face interne de la valve, montrant les grosses dents cardinales.

FIG. 560. — *Conularia ornata*, D'Arch. et de Vern. (*Geol. Trans.*, 2e série, vol. VI, pl. 29). Refrath, près de Cologne

dent dans la même division ; nous mentionnerons particulièrement l'*Atrypa reticularis*, Linn. (fig. 575), fossile cosmopolite que l'on rencontre dans les couches devoniennes depuis l'Amérique jusqu'à l'Asie Mineure, et qui vécut aussi, comme nous le verrons plus loin, dans les mers Siluriennes. Les Bivalves lamellibranches communes au calcaire de Plymouth, dans le Devonshire et sur le Continent, ont fourni le *Megalodon* (fig. 559) et plusieurs bivalves spirales telles que *Murchisonia*, *Euomphalus* et *Macrocheilus*. On remarque aussi des Ptéropodes, comme *Conularia* (fig. 560). Les Céphalopodes, tels que *Cyrtoceras*, *Gyroceras* et autres, appartiennent presque tous à des genres différents de ceux qui prévalent dans le calcaire Devonien Supérieur ou Clymenien-Kalk (Calcaire à Clymènes des Allemands). On rencontre aussi quelques espèces de Trilobites, en particulier le caractéristique *Brontes flabellifer* (fig. 561), dont tous les collectionneurs connaissent la queue en forme d'éventail. On

FIG. 561. — *Brontes flabellifer*, Goldf.; Eifel; Sud-Devon.

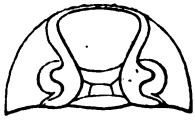


FIG. 562. — Croquis de la tête restaurée du *Brontes flabellifer*.

FIG. 563. — *Calceola sandalina*, Lam.; Eifel ; Sud-Devon.
a. Valve centrale.
b. Face interne de la valve dorsale.

trouve rarement la tête de ce Trilobite à un état parfait de conservation. M. Salter en a essayé une restauration (fig. 562).

On a découvert dans la même formation, en y comprenant le *Calcaire à Stringocephalus* ou *Calcaire de l'Eifel* des Allemands, de nombreux débris de *Coccosteus* et d'autres

Ichthyolites ; ces débris ont servi à identifier la roche avec le Vieux Grès Rouge d'Angleterre et de Russie.

Au-dessous du Calcaire de l'Eifel, principal type du *Devonien* sur le continent, gît un certain schiste que les auteurs allemands ont appelé *Calceola-Schiefer* (*Schiste à Calcéoles*), d'après la *Calceola sandalina* (fig. 563), Brachiopode fossile d'une forme très curieuse qu'ils contiennent en abondance.

DEVONIEN INFÉRIEUR.

Au-dessous des calcaires et des schistes du Devonien Moyen on observe, entre Coblentz et Caub (1), une série de schistes ardoisiers et de grès quartzeux. Ces derniers constituent la *Vieille Grauwacke du Rhin* de Roemer, et le *Grès à Spirifères* de Sandberger. MM. Sedgwick et Murchison avaient considéré une partie de ces roches du Rhin et de quelques-unes des contrées adjacentes comme appartenant au Silurien Supérieur, mais leur âge véritable a depuis été rectifié. Leurs équivalents en Angleterre sont les grès et schistes ardoisiers du Foreland septentrional et de Linton dans le Devon (nos 4 et 5 de la coupe, p. 159, t. II) ; suivant M. Salter, tel serait aussi le grès de Torbay dans le

FIG. 564. — *Spirifer mucronatus*, Hall. Devonien de Pennsylvanie.

Devon Méridional, contrée où l'on observe plusieurs des fossiles caractéristiques du Rhin. Les Spirifères à larges ailes, qui caractérisent le *Spirifer-sandstein* (*Grès à Spirifères*) d'Allemagne, ont des représentants dans les couches Devoniennes de l'Amérique du Nord (fig. 564).

(1) Murchison, *Siluria*, p. 368.

Parmi les Trilobites de cette ère, on remarque une grande espèce d'*Homalonotus* (fig. 565). Ce genre en lui-même est plutôt une forme du Silurien, mais les espèces épineuses qu'il fournit paraissent appartenir exclusivement au *Devonien Inférieur*.

Aux fossiles précédents sont associées plusieurs espèces de Brachiopodes tels que *Orthis*, *Leptæna*, *Chonetes*; des

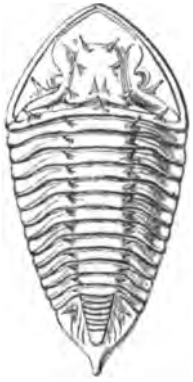


FIG. 565. — *Homalonotus armatus*, Burmeister. Devonien Inférieur ; Dann, dans l'Eifel.

OBSERVATION. — Les deux rangées d'épines donnent une apparence de division en trois lobes plus prononcée qu'elle n'existe en réalité dans cette espèce ou dans beaucoup d'autres du même genre.

FIG. 566. — *Pleurodictyum problematicum*, Goldf. Devonien Inférieur ; Dietz, Nassau, etc.

OBSERVATION. — Le fossile adhère à un corps vermiforme (*Serpula*) ; il existe en relief dans un grès ; la base mince et étalée du corail a été retirée, pour faire voir les larges cellules polygonales; les parois de celles-ci sont perforées, et, entre elles, les modèles en relief des perforations produisent comme une chaine de points.

Lamellibranches, comme *Pterinea;* et un corail fossile très remarquable, le *Pleurodictyum problematicum* (fig. 566).

Devonien de Russie. — D'après Sir R. Murchison, les couches Devoniennes en Russie s'étendraient sur une région plus vaste que les Iles Britanniques. Lorsqu'elles se composent de grès, comme le Vieux Grès Rouge de l'Écosse et de l'Angleterre centrale, elles contiennent des poissons fossiles souvent identiques pour l'espèce, mais plus souvent encore pour le genre, avec ceux de l'Angleterre ; au contraire, lorsqu'elles sont formées de calcaire, elles fournissent des coquilles semblables à celles du Devonshire. Cette cir-

constance remarquable confirme l'origine contemporaine d'abord assignée à ces formations qui montrent deux types minéralogiques très distincts en différents points de l'Angleterre (1). Les roches calcaires et arénacées de Russie alternent entre elles, de telle sorte qu'il ne saurait subsister aucun doute sur leur synchronisme.

Parmi les poissons communs aux couches de Russie et d'Angleterre sont les *Asterolepis Asmusii*, une espèce plus petite (*A. minor*, Ag.), *Holoptychius nobilissimus* (p. 150, t. II), *Dendrodus strigatus*, Owen, *Pterichthys major*, Ag., et beaucoup d'autres. Mais quelques-uns des plus remarquables parmi les genres écossais, les *Cephalaspis*, *Coccosteus*, *Diplacanthus*, *Cheiracanthus*, etc., n'ont pas encore été trouvés en Russie, ce que l'on peut attribuer, soit à l'état imparfait de nos connaissances actuelles, soit à des causes géographiques qui ont limité l'étendue d'habitat des espèces éteintes. En somme, on a rencontré jusqu'à présent en Russie plus de quarante espèces de poissons ganoïdes et placoïdes ; quelques-uns de ces derniers avaient une taille colossale.

COUCHES DEVONIENNES AUX ÉTATS-UNIS.

Dans aucune contrée, les couches qui interviennent entre le Carbonifère et le Silurien n'ont offert une série aussi complète qu'aux États-Unis. Ces couches ont été d'abord étudiées en grand détail, particulièrement au point de vue paléontologique, par les Géologues de l'État de New-York La surface de cet État égale à elle seule presque toute la Grande-Bretagne, et les roches Devoniennes s'y présentent dans une position à peu près horizontale et normale, de telle sorte que l'on peut y établir avec certitude les rapports des formations entre elles.

(1) *Siluria*, p. 329.

Sous-divisions des Couches Devoniennes du New-York, adoptées dans les rapports des Géologues de l'État.

Noms des groupes.	Épaisseur en mètres.
1. Groupe de Catskill, ou Vieux Grès Rouge....	610
2. Groupe de Chemung.....	460
3. Portage.....	305
4. Genessée.....	
5. Tully.....	4.60
6. Hamilton.....	305
7. Marcellus.....	15
8. Corniferous.....	15
9. Onondaga.....	
10. Schoharie.....	3
11. Cauda-Galli grit.....	
12. Grès d'Oriskany.....	1 à 10

Ces sous-divisions n'ont pas, à beaucoup près, la même valeur quant à l'épaisseur des couches et à la différence de leurs fossiles, mais chacune porte certains caractères minéralogiques ou organiques qui la distinguent des autres ; de plus, on a trouvé, par la comparaison de la géologie des autres États avec celle de New-York, que quelques-uns des groupes ci-dessus mentionnés, par exemple les nos 2 et 3, qui ont l'un 460 et l'autre 305 mètres de puissance dans le New-York, se localisaient de plus en plus, et s'amincissaient en gagnant les États circonvoisins, tandis que d'autres groupes, comme les nos 8 et 9, dont l'épaisseur totale atteint à peine 15 mètres dans le New-York, se développaient sur une surface presque aussi large que l'Europe.

Quant à la limite supérieure du système, il s'est élevé relativement à ce point quelques divergences, surtout depuis qu'on a trouvé dans le Grès Rouge no 1, l'*Holoptychius nobilissimus*, et d'autres poissons génériquement ou spécifiquement caractéristiques du Vieux Grès Rouge d'Europe.

Il existe bien plus de doutes encore sur la classification des nos 10, 11 et 12. Après un voyage aux États-Unis, M. de

Verneuil a proposé, en 1847, de ranger le grès d'Oriskany dans le Devonien; l'examen des fossiles que j'avais recueillis (1842) en Amérique, a conduit M. Sharpe à la même conclusion (1). La ressemblance des Spirifères de ce grès d'Oriskany avec ceux du Devonien Inférieur de l'Eifel a fourni à M. de Verneuil son principal argument; le grit (grès) de Schoharie qui vient au-dessus, n° 10, a été classé comme Devonien, parce qu'il contient une espèce d'*Asterolepis*. D'un autre côté, M. Hall cite plusieurs fossiles dans les n^os^ 11 et 12, qui paraissent ressembler au groupe du Ludlow de Murchison plus qu'à aucun type européen; il range par conséquent ces groupes dans le Silurien Supérieur. Le grès d'Oriskany qui, dans le New-York, n'atteint jamais plus de 10 mètres d'épaisseur, en présente quelquefois jusqu'à 90 en Pennsylvanie et en Virginie, provinces où MM. W.-B. et H.-D. Rogers l'ont parfaitement étudié en même temps que les autres couches primaires ou paléozoïques.

Les divisions supérieures (comprenant depuis le groupe de Catskill jusqu'au groupe de Genessée inclusivement, n^os^ 1 à 4) se composent de lits arénacés et schisteux, qui sont peut-être d'origine littorale. Elles varient beaucoup d'épaisseur, et quelques-unes d'entre elles se prolongent très loin vers l'Ouest; tandis que les groupes calcaires n^os^ 8 et 9, bien que mesurant rarement dans le New-York une épaisseur supérieure à 15 mètres, n'en constituent pas moins un récif de corail presque continu sur une surface qui dépasse 800,000 kilomètres carrés, depuis l'État de New-York jusqu'au Mississipi d'un côté, et d'un autre côté, entre les lacs Huron et Michigan dans le Nord et les rivières Ohio et Tenessée dans le Sud. Dans les États de l'Ouest, ces divisions sont représentées par la portion supérieure de ce qu'on appelle le *Cliff Limestone*. On observe un grand développement de cette formation calcaire aux Chutes ou Rapides de la

(1) De Verneuil, *Bulletin*, etc., 4^e^ série, p. 678, 1847.—D. Sharpe, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. IV, p. 145, 1847.

rivière Ohio, à Louisville, dans le Kentucky, où elle ressemble à un récif de corail moderne. Dans la saison des eaux basses, elle présente à découvert une large surface disposée en gradins horizontaux, et, comme les parties tendres de la pierre ont été décomposées et lavées, les coraux calcaires, plus durs, font saillie et envoient des branches dans toutes les directions. J'ai observé d'énormes masses de plus de 2 mètres de diamètre du *Favosites Gothlandica* avec sa magnifique structure en rayons de miel ; à côté se trouvait le *Favistella* qui offre une combinaison de la structure précédente avec celle d'une étoile d'*Astræa*. On voyait aussi le *Cyathophyllum* en forme de coupe, et la délicate trame de la *Fenestella*, ainsi que l'élégante espèce fossile bien connue en Europe, le *Corail-chaîne* (*Catenipora escharoides*, fig. 579), avec quantité d'autres fossiles analogues. Ces formes corallines étaient mêlées d'articulations, de tiges, et parfois de têtes d'Encrines liliformes. Bien que des centaines de beaux échantillons aient été tirés de la roche pour enrichir les musées d'Europe et d'Amérique, le gisement en est inépuisable ; il se prépare constamment de nouvelles récoltes sous l'action du courant, et sous l'influence du soleil et de la pluie, lorsque, dans la saison chaude, le canal a été mis à sec. A l'époque de ma visite à cette localité, en avril 1846, les eaux de l'Ohio étaient à plus de 12 mètres au-dessous de leur niveau le plus élevé, et à 6 mètres au-dessus de leur plus bas ; une large surface de la roche était ainsi à nu (1).

La Monographie publiée en 1853 par MM. Milne Edwards et Jules Haime (*Paleontographical Society*) ne décrit pas moins de quarante-six espèces de coraux Devoniens d'Angleterre, et, sur le nombre, six espèces seulement se retrouvent en Amérique ; ce fait est important pour déterminer la géographie de l'hémisphère septentrional pendant l'époque Devonienne, surtout si l'on tient compte du large développe-

(1) Lyell, *Second Visit to the United States*, vol. II, p. 277.

ment des Anthozoaires dans le sens de l'espace. Nous devons nous rappeler aussi que les coraux de ces anciens récifs d'Amérique ou d'Europe, quel que soit leur facies moderne, appartiennent tous au *Zoantharia rugosa*, sous-ordre qui n'a plus aujourd'hui de représentant. Soyons donc très réservés lorsqu'il s'agit de tirer de la présence et des formes de ces zoophytes, des conclusions relatives à la prédominance d'un climat chaud ou tropical dans de hautes latitudes à l'époque où ils vivaient, car, dit le professeur Forbes, ces conclusions reposeraient uniquement sur la confusion des analogies avec les affinités (1).

La division calcaire dont nous traitons contient aussi des *Goniatites*, *Spirifer*, *Pentremites* et plusieurs autres genres de Mollusques et Crinoïdes analogues à ceux qui abondent dans le Devonien d'Europe ; quelques espèces même sont identiques sur les deux points du globe. Mais la difficulté de déterminer le parallélisme exact entre les sous-divisions du New-York et les membres du Devonien d'Europe résulte du petit nombre d'espèces communes ; on en jugera par l'essai critique qu'a publié M. Hall, en 1851, sur les écrits des auteurs européens, relativement à cette intéressante question (2). Du reste, nous-mêmes aujourd'hui, sommes-nous capables d'établir le parallélisme entre les principaux groupes du Nord et du Sud de l'Écosse, et les rapports de même genre entre les divisions du Devon et du Rhin?

(1) *Geol. Quart. Journ.*, vol. X, pl. LX, 1854.

(2) Rapport de Foster et Witney, *On the Geol. of Lake Superior*, p. 302. Washington, 1851.

ROCHES SILURIENNES MOYENNES.

Formation de Caradoc.	Grès de Caradoc.	Schiste, calcaire coquillier, grès et conglomérat.	610	Crinoïdes, Coraux, Mollusques, principalement des Brachiopodes. (Le genre *Pentamerus* abonde.)

ROCHES SILURIENNES INFÉRIEURES.

Formation de Llandeilo.	Llandeilo flags.	Flags calcaires de couleur foncée ; ardoises et grès.	6100	Mollusques, Trilobites, Cystidées, Crinoïdes, Coraux, Graptolites.

ROCHES SILURIENNES SUPÉRIEURES.

Formation de Ludlow. — Ce membre du groupe Silurien Supérieur mesure, ainsi qu'on le voit dans le tableau qui précède, une grande épaisseur, et se sous-divise en trois parties : — Ludlow Supérieur, L. Inférieur (comme intermédiaire), et Calcaire d'Aymestry. Des débris organiques particuliers permettent de distinguer ces trois sous-divisions près de la ville de Ludlow et en d'autres endroits des comtés de Shrop et de Hereford.

1. *Ludlow Supérieur. a. Tilestones.* — Cette division, nommée *Tilestones* (pierres à tuile), fut d'abord classée par Sir R. Murchison dans le Vieux Grès Rouge ; en effet, elle se décompose en un sol rouge, à la surface de la région silurienne. On la regardait comme formant un groupe de transition entre le Silurien et le Vieux Grès Rouge ; mais aujourd'hui on s'est assuré que ses fossiles ressemblent la plupart spécifiquement, et tous par leur caractère générique, à ceux des couches siluriennes qui viennent au-dessous. Parmi ces fossiles, on cite les *Orthoceras bullatum*, *Trochus ? helicites*, *Bellerophon trilobatus*, *Chonetes lata.*, etc, ainsi que de nombreuses défenses de poissons. On observe parfaitement les lits de cette sous-division à Kington, Herefordshire et à Downton Castle, près de Ludlow, où ils fournissent des pierres à bâtir.

b. Grès gris, etc. — La sous-division du Ludlow qui vient ensuite est formée d'un grès calcaire gris ou d'une pierre micacée ; ces roches se décomposent en terre molle, et contiennent, outre les coquilles que je viens de signaler, la *Lingula cornea* commune en même temps aux Tilestones. L'*Orthis orbicularis*, variété ronde de l'*O. elegantula*, est caractéristique du Ludlow Supérieur, et les couches terreuses inférieures sont toutes remplies d'*Athyris navicula* (fig. 568)

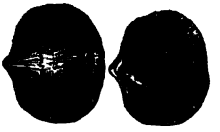


FIG. 567. — *Orthis elegantula*, Dalm., v ar. *orbicularis*, J. Sow. Delbury. Ludlow Supérieur.

FIG. 568. — *Athyris* (*Terebratula*) *navicula*, J. Sow. Calcaire d'Aymestry; se trouve aussi dans les Ludlow Supérieur et Inférieur.

sur une épaisseur de plus de 9 mètres. Comme cela arrive ordinairement dans les formations des périodes Primaires, les mollusques Brachiopodes prédominent sur les Lamellibranches, bien que ceux-ci soient loin d'être rares. Entre autres genres, on remarque des *Avicula* (ou *Pterinea*), *Cardiola*, *Nucula*, *Sanguinolites* et *Modiola*.

Les grès du Ludlow Supérieur présentent quelquefois des ondulations qui indiquent un dépôt graduel ; la même observation s'applique aux schistes argileux qui les accompagnent. Ces derniers sont d'une grande épaisseur ; ils ont reçu en province le nom de *mudstones* (pierres de limon). Quelques-uns contiennent des tiges de Crinoïdes en position verticale qui ont évidemment été fossilisées sur place, à l'époque où elles croissaient au fond de la mer. La facilité avec laquelle ces roches, lorsqu'elles sont exposées aux injures du temps, se résolvent en limon (en terre), prouve que, malgré leur ancienneté, elles sont encore presque à l'état où elles étaient lors de leur formation.

Le *lit à ossements* du Ludlow Supérieur fournit le plus ancien exemple bien authentique de débris fossiles de poissons. Il présente ordinairement une seule bande mince de fragments bruns, osseux, à la jonction du Vieux Grès Rouge

et des roches du Ludlow ; cette bande mesure, près de la ville de Ludlow, 0m,07 à 0m,10 d'épaisseur. On l'a suivie sur une longueur de plus de 70 kilomètres, à partir de ce point jusque dans le Gloucestershire et autres comtés, et généralement elle n'a pas montré plus de 0m,025 d'épaisseur. A May Hill, deux lits du même genre sont séparés par plus de 4 mètres de couches remplies de fossiles du Ludlow Supérieur (1). La même localité a fourni, immédiatement au-dessus du lit à poissons supérieur, de nombreux corps globulaires qui, suivant le Dr Hooker, seraient des spores d'une plante terrestre cryptogame, probablement d'une Lycopodiacée. Les lits à ossements viennent précisément au-dessous des couches inférieures du Vieux Grès Rouge. Quelques-uns des poissons appartiennent à la famille des Requins, et l'on rapporte leurs défenses au genre *Onchus* (fig. 569). Ils sont accompagnés d'un grand nombre de

Fig. 569. — *Onchus tenuistriatus*, Agass. Lit à ossements. Silurien Supérieur ; Ludlow.

Fig. 570. — Écailles chagrinées d'un poisson placoïde (*Thelodus*). Lit à ossements. Ludlow Supérieur.

petites écailles chagrinées (fig. 570) qui peut-être proviennent du même poisson placoïde. On a découvert aussi dans ces lits la mâchoire et les dents d'un autre genre de poisson vorace (fig. 571). Comme dans la plupart des lits à ossements, les dents

Fig. 571. — *Plectrodus mirabilis*, Agass. Lit à ossements. Ludlow Supérieur.

et les os sont presque toujours à l'état de fragments roulés. On a beaucoup écrit sur les débris de poissons fournis par les membres plus anciens de la série Silurienne ; mais M. Salter a démontré qu'aucune des hypothèses n'était véritablement fondée (2). M. Phillips a toutefois signalé des ossements de

(1) Murchison, *Siluria*, p. 137-237.

(2) *Geol. Quart. Journ.*, vol. VII, p. 263.

poissons dans la portion inférieure du Ludlow Supérieur, à sa jonction avec la roche d'Aymestry (1); on ne paraît pas jusqu'à ce jour avoir constaté aucun gisement inférieur à celui-ci, soit en Europe, soit dans l'Amérique du Nord, car les plus anciens Ichthyolites de M. Barrande (fragments osseux de $0^m,20$) ont été rencontrés dans le Silurien Supérieur de Bohême; ceux qu'ont annoncés les géologues américains proviennent du Grès d'Oriskany, formation que l'on considère encore comme douteuse, et qui oscille entre les systèmes Devonien et Silurien. (Voy. t. II, p. 169.)

En Angleterre, il est vrai, de même qu'aux États-Unis et au Canada, on a découvert au sein des roches Siluriennes Inférieures des masses globulaires, cylindriques ou aplaties, composées principalement de phosphate de chaux, et que l'on a supposé être des Coprolites. Il a été démontré récemment que les coquilles des genres *Lingula* et *Orbicula*, abondantes au sein des mêmes formations, sont composées de phosphate et de carbonate de chaux en proportions semblables; on a donc pensé que la décomposition de ces coquilles avait pu donner naissance aux nodules, et que ceux-ci auraient reçu leur forme de l'action de concrétion (2). Mais, quand bien même les zoologistes préféreraient considérer les nodules comme une matière phosphatique, rejetée à l'état d'excrément par des animaux se nourrissant de Lingules et d'Orbicules, il resterait encore à décider si ces animaux furent des Vertébrés plutôt que des Céphalopodes, des Crustacés ou d'autres Invertébrés. Quant à la supposition qu'aucun poisson n'aurait existé dans les mers Siluriennes avant l'époque du lit à ossements du Ludlow, je la discuterai à la fin de ce chapitre.

2. *Calcaire d'Aymestry.* — Le groupe suivant est un calcaire subcristallin et argileux qui, parfois, mesure 15 mètres de puissance; il se distingue aux environs d'Aymestry par

(1) *Memoirs Geol. Surv.*, vol. II.

(2) Logan et Hunt, *Silliman Journ.*, n° 50, 2e série, mars 1854.

l'abondance du *Pentamerus Knightii*, Sow. (fig. 572), fossile que l'on trouve aussi dans le Ludlow Inférieur. On a d'abord signalé ce genre de Brachiopode au sein des couches Siluriennes; c'est une forme exclusivement paléozoïque. Son

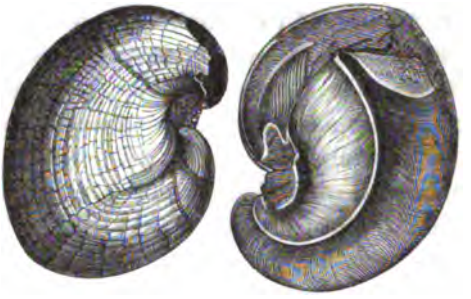


Fig. 572. — *Pentamerus Knightii*, Sow.; demi-grandeur naturelle. Aymestry.
a. Les deux valves unies. — *b*. Coupe suivant la longueur des valves, montrant les cloisons centrales.

nom dérive de πέντε (*pente*), cinq, et μέρος (*méros*), partie. Les deux valves sont, en effet, divisées par une cloison centrale qui forme quatre chambres, et, dans l'une des valves, la cloison elle-même contient une petite chambre, ce qui fait cinq en tout. Ces cloisons ont un développement énorme comparativement à ce qu'on observe chez toutes les autres coquilles de Brachiopodes; elles ont dû partager l'animal en deux parties à peu près égales; néanmoins elles sont de la même nature que celles de l'intérieur des *Spirifères*, des

Fig. 573. — *Lingula Lewisii*, J. Sow. Abberley Hills.

Fig. 574. — *Rhynchonella* (*Terebratula*) *Wilsoni*, Sow. Aymestry.

Térébratules et de plusieurs autres coquilles du même ordre. MM. Murchison et de Verneuil ont observé cette espèce par

myriades dans un calcaire blanc d'âge Silurien Supérieur, sur les rives de l'Is, au revers oriental des monts Ourals en Russie; une espèce semblable se rencontre fréquemment en Suède.

Trois autres coquilles abondent dans le calcaire d'Aymestry, ce sont : 1° la *Lingula Lewisii* (fig. 573); 2° la *Rhynchonella Wilsoni*, Sow. (fig. 574), appartenant également au Ludlow Inférieur ainsi qu'au Calcaire de Wenlock; 3° l'*Atrypa reticularis*, Lin. (fig. 575), que l'on trouve partout

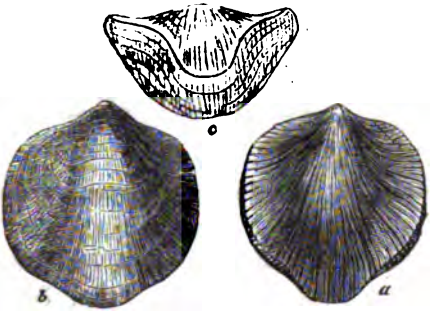


FIG. 575. — *Atrypa reticularis*, Lin. (*Terebratula affinis*, Min. Conc.). Aymestry. *a*, Valve supérieure. — *b*. Valve inférieure. — *c*. Bord antérieur des valves.

FIG. 576. — *Phragmoceras ventricosum*, J. Sow. (*Orthoceras ventricosum*, Stein.) 1/4 de grosseur. Aymestry.

dans le Système Silurien, même à la partie supérieure des Llandeilo Flags.

Le Calcaire d'Aymestry contient un si grand nombre de coquilles, coraux et trilobites, semblables spécifiquement à ceux du Calcaire de Wenlock sous-jacent, que l'on peut difficilement distinguer ces deux membres l'un de l'autre, par les seuls fossiles. Toutefois certains débris organiques sont communs au Calcaire d'Aymestry et au Ludlow Supérieur, et plusieurs ne se retrouvent pas dans le Wenlock (1).

3. *Schiste du Ludlow Inférieur*.— C'est un dépôt argileux, d'un gris foncé, qui contient, parmi divers fossiles, plusieurs coquilles cloisonnées, très grandes, de genres à peine connus

(1) Murchison, *Siluria*, p. 133.

dans les roches plus nouvelles, comme *Phragmoceras*, Broderip, et *Lituites*, Breyn (fig. 576, 577). Ce dernier genre est en partie droit et en partie enroulé, presque comme la *Spirula*.

L'*Orthoceras Ludense* (fig. 578), de même que le Céphalopode que nous venons de citer, est spécial à ce membre de la série.

Fig. 577. — *Lituites giganteus*, J. Sow.; 1/4 de grandeur naturelle. Des environs de Ludlow; se trouve aussi dans les calcaires d'Aymestry et de Wenlock.

Fig. 578. — Fragment d'*Orthoceras Ludense*, J. Sow. Leintwardine, Shropshire.

On rencontre aussi abondamment dans le Ludlow Inférieur une espèce de Graptolite, *G. Ludensis*, Murch. (fig. 588, t. II, p. 183), forme de Zoophyte qui n'a pas encore été signalée dans les couches supérieures au Silurien.

Formation de Wenlock. — Vient ensuite la formation de Wenlock, que l'on a divisée (voy. tableau, t. II, p. 173) en Calcaire de Wenlock et Schiste de Wenlock.

1. *Calcaire de Wenlock.* — Autrefois bien connu des collectionneurs sous le nom de Calcaire de Dudley, il forme, dans le Shropshire, une crête continue, longue de 32 kilomètres, qui s'étend du S.-O. au N.-E., à la distance de 16 kilomètres environ de l'escarpement presque parallèle du Calcaire d'Aymestry. Cette sorte de protubérance allongée doit son existence à la solidité de la roche qui la constitue, au peu de résistance des schistes qui sont au-dessus et au-dessous. Près de Wenlock, la formation consiste en masses épaisses d'un calcaire subcristallin, gris, rempli de coraux et d'encrines. Cette masse est essentiellement de nature concrétionnée, et les concrétions, appelées *Ball-Stones*, dans le

Shropshire, mesurent parfois jusqu'à 25 mètres de diamètre. Elles sont formées de carbonate de chaux pur; la roche qui les entoure est plus ou moins argileuse (1). Dans les collines de Malvern, le Calcaire est souvent oolitique.

Parmi les nombreux coraux de cette formation, nous mentionnerons le *Corail-chaîne* (*Halysites catenulatus*, ou *Catenipora escharoïdes*, fig. 579); c'est l'un des plus faciles à reconnaître et des plus largement répandus en Europe, dans toutes les divisions du groupe Silurien, depuis le Calcaire d'Aymestry jusque tout près de la base de la série. On y rencontre aussi à profusion un autre corail, le *Favosites Gothlandica* (fig. 580). Une troisième forme, très commune dans le Calcaire de Wenlock, est l'*Omphyma* (fig. 581); de même que plusieurs de ses analogues, ce corail nous présente une ressemblance frappante avec les coraux cupuliformes modernes; mais tous

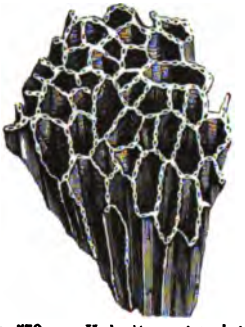


FIG. 579. — *Halysites catenulatus*, Linn. sp. Syn., *Catenipora escharoïdes*, Goldf. Siluriens Supérieur et Inférieur.

FIG. 580. — *Favosites Gothlandica*, Lam. Dudley.
a, Portion d'une grosse masse, moindre que grandeur naturelle. — *b*, Portion grossie montrant les pores et les divisions des tubes.

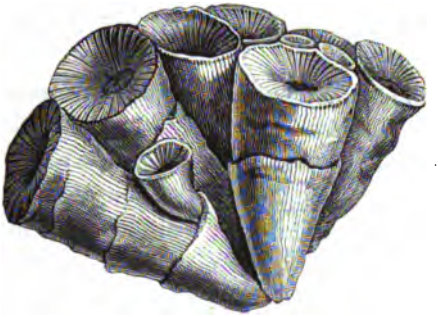


FIG. 581. — *Omphyma turbinatum*, Linn. sp. (*Cyathophyllum*, Goldf.) Calcaire de Wenlock, Shropshire.

(1) Murchison, *Siluria*, p. 115.

les genres siluriens appartiennent au type paléozoïque que j'ai signalé ci-dessus (t. II, p. 134).

Les Crinoïdes, très nombreux dans la formation, fournissent plusieurs espèces particulières de *Cyathocrinus* (pour le genre, voy. figures 518, 519, t. II, p. 136) ; ces espèces ont contribué par leurs tiges calcaires, leurs bras et leurs coupes à l'accumulation du Calcaire de Wenlock. Comme Cystidées, on n'y observe que peu de formes vraiment remarquables, et quelques-unes d'entre elles sont spéciales au Silurien Supérieur, par exemple le *Pseudocrinites*, qui était armé de bras fixes, pennés (1) (fig. 582).

Les Brachiopodes appartiennent la plupart aux espèces du Calcaire d'Aymestry ; tels sont l'*Atrypa reticularis* (fig. 575,

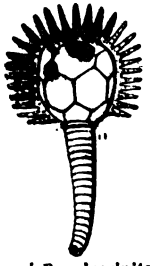


Fig. 582. — *Pseudocrinites bifasciatus*, Pearce, Calcaire de Wenlock, Dudley.

Fig. 583. — *Strophomena* (*Leptæna*) *depressa*, Sow. Roches de Wenlock et de Ludlow.

t. II, p. 179) et le *Strophomena depressa*, Sow., sp. (fig. 583) ; mais ces espèces se rencontrent également dans les Ludlow, Schiste de Wenlock et Grès de Caradoc.

Les Crustacés sont à peu près exclusivement représentés par les Trilobites, mais ceux-ci montrent les formes les plus remarquables. Le *Calymene Blumenbachii*, appelé le *Trilobite de Dudley*, était connu déjà depuis longtemps avant que sa véritable place eût été fixée dans le règne animal. On le rencontre souvent enroulé comme l'*Oniscus* commun, et c'est là un état assez fréquent chez les Trilobites, nous autorisant à conclure que ces animaux avaient habituellement recours à ce moyen pour déjouer l'attaque de

(1) E. Forbes, *Mem. Geol. Survey*, vol. II, p. 496.

leurs ennemis. Le *Sphærexochus mirus* (fig. 586) se présente comme une boule lorsqu'il est enroulé, la partie antérieure chez cet animal étant extrêmement plate. L'*Homalonotus*,

FIG. 584.— *Calymene Blumenbachii*, Brong. Calcaires de Wenlock, de Ludlow et d'Aymestry.

FIG. 585. — *Phacops caudatus*, Brong. Roches de Wenlock, d'Aymestry et de Ludlow.

FIG. 586.— *Sphærexochus mirus*, Beyrich; enroulé, Dudley; aussi dans l'Ohio, Amérique du Nord.

sorte de Trilobite chez lequel la division tripartite de l'épiderme dorsal est à peine sensible (fig. 587), caractérise particulièrement cette division de la série Silurienne.

2. *Schiste de Wenlock.* — Cette roche, suivant S. R. Murchison (1), est de beaucoup la plus étendue et la plus con-

FIG. 587. — *Homalonotus delphinocephalus*, Konig. Dudley Castle; 1/3 de grandeur nat.

FIG. 588.— *Graptolites Ludensis*, Murchison. Schistes de Ludlow et de Wenlock.

stante de la formation de Wenlock; le Calcaire, en effet, s'y amincit souvent et finit par disparaître. De même que le

(1) Murchison, *Siluria*, p. 111.

Ludlow Inférieur, le Schiste contient fréquemment des concrétions elliptiques de calcaire terreux, impur. Dans le district de Malvern, c'est une masse argileuse fine, qui atteint à peine une épaisseur de 200 mètres; mais, dans les Galles, sa puissance dépasse 300 mètres. Les fossiles les plus abondants y sont, outre les coraux, des Trilobites et quelques Crinoïdes, plusieurs petites espèces d'*Orthis*, avec d'autres Brachiopodes, et certaines espèces d'*Orthoceratites* à coquille très mince. On y rencontre aussi de nombreux échantillons de *Graptolites*, groupe de Zoophytes confiné aux roches Siluriennes, et que l'on trouve plus rarement dans le Ludlow.

ROCHES SILURIENNES MOYENNES.

Grès de Caradoc. — Ce grès, qui tire son nom de la montagne de Caer Caradoc dans le Shropshire, fut d'abord considéré comme la portion sableuse et supérieure des couches Siluriennes Inférieures. Des recherches ultérieures ont fait voir que le Caradoc, tel qu'on l'entendait dans le principe, c'est-à-dire le Caradoc type, se divise en deux formations : l'une, inférieure, simple état arénacé des Llandeilo Flags, et contenant des espèces fossiles identiques; l'autre, supérieure, ou grès, comprenant une série de couches obliques à celles du Llandeilo, et caractérisée principalement par des fossiles du Silurien Supérieur, avec quelques mélanges cependant d'espèces propres au *Silurien Inférieur*. Ainsi distingué du Llandeilo, le Caradoc peut donc être placé à la base du schiste de Wenlock, ainsi que le pensent certains géologues, ou bien être regardé comme groupe Silurien Moyen, opinion que j'ai adoptée provisoirement avec plusieurs des Géologues du Gouvernement. Toutefois la plus grande portion des couches qu'on appelait primitivement *le Caradoc* a passé au Llandeilo; elle fournit l'équivalent des membres Supérieur et Moyen de cette division.

MM. Ramsay et Aveline ont fait connaître d'une manière positive les rapports du Caradoc avec les couches qui lui sont

supérieures ou inférieures; ils ont observé que, dans les collines de Longmind, le grès reposait en stratification discordante sur le Silurien Inférieur, et que ce dernier, ou *Llandeilo Flags*, de même que quelques autres roches encore plus anciennes, avait dû constituer une île au milieu de la mer de Caradoc. D'après M. Forbes, cette île devait être une terre haute et escarpée, s'élevant d'une eau profonde. Les fossiles du Caradoc, dont quelques-uns présentent un caractère littoral, par exemple les *Littorina* et *Turritella*, durent se déposer autour du rivage de cette terre. On a établi également que les grès et conglomérats du Caradoc Supérieur (1), qui reposent en stratification discordante sur les lits du Llandeilo, passent au contraire, vers leur partie supérieure, au schiste de Wenlock.

Plus tard, MM. Sedgwick et M'Coy (2) constatèrent au sein des lits du Caradoc de May Hill et des Malvern appartenant au Caradoc Supérieur, l'existence certaine de fossiles Siluriens Supérieurs; ils trouvèrent, en outre, que les couches du grès de Caradoc, à Horderly et en d'autres localités à l'Est de Caer Caradoc, appartenaient au groupe de Bala (équivalent du Llandeilo); ces couches étaient caractérisées par des espèces du Silurien Inférieur. Plus tard, MM. Salter et Aveline, en étudiant certaines portions du Shropshire où le Caradoc avait été primitivement examiné par Sir R. Murchison, virent le Caradoc Supérieur en stratification discordante sur l'Inférieur, et contenant des fossiles très différents (3).

Toutefois, dans le sens restreint sous lequel on l'entend aujourd'hui, le grès de Caradoc comprend une série de couches qui forment passage entre les groupes Siluriens Inférieur et Supérieur. Partout il est caractérisé par des espèces de *Pentamerus* et d'*Atrypa*, inconnues dans le Wenlock susjacent ou dans le Ludlow, mais qui continuent de se montrer

(1) *Quart. Geol. Journ.*, vol. IV, p. 297.
(2) *Ibid.*, 1852.
(3) *Ibid.*, vol. X, p. 62.

à travers les couches du groupe de Llandeilo. Je mentionnerai particulièrement les *Pentamerus lævis* (fig. 589) et *P. oblongus* comme brachiopodes abondants au sein des

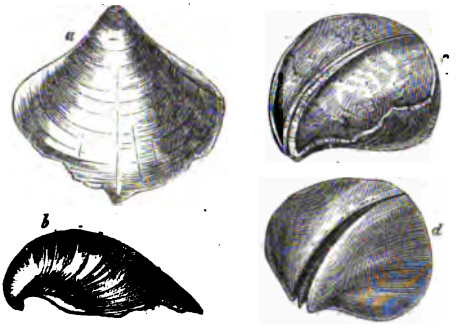


Fig. 589. — *Pentamerus lævis*, Sow. Peut-être le *Pentamerus oblongus* dans le jeune âge. Grès de Caradoc.

a, *b*. La coquille elle-même, d'après des figures du *Sil. Syst.* de Murchison. — *c*. Moule de la même espèce, avec une portion de la coquille qui subsiste encore, et la place du septum central remplie de calcaire spathique. — *d*. Moule de l'intérieur d'une valve, dans lequel l'espace autrefois occupé par le septum est représenté par une cavité dans laquelle on voit un relief de la chambre au dedans du septum.

couches du Silurien ; on les rencontre au même niveau dans les séries Siluriennes de Russie et des États-Unis. Le *Tentaculites annulatus* (fig. 590) et un annélide probablement voisin de la *Serpula* sont aussi très communs dans la même

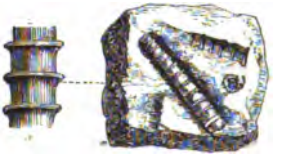


Fig. 590. — *Tentaculites annulatus*, Schlot. Moules intérieurs, dans le grès ; grandeur naturelle, et l'un des individus grossi. Eastnor Park.

formation, fait qui rapproche ces couches bien plus du Silurien Inférieur que du Silurien Supérieur. La totalité du grès coquillier des Malvern et des Abberly Hills, de Tortworth (Gloucestershire), ainsi que du centre des districts de May Hill et de Woolhope, appartient à ce Silurien Moyen qui, dans la chaîne des Malvern, atteint une épaisseur de 200 mètres. On assigne au même âge les masses épaisses de grès mêlé de

schiste, d'une puissance de 600 mètres, qui existent dans les régions hautes et disloquées de la Galles du Nord, dans les monts Berwyn par exemple. Suivant M. Sedgwick, les grès durs et quartzeux (Coniston grits) du Westmoreland devraient aussi être rapportés à la même période.

ROCHES SILURIENNES INFÉRIEURES.

Llandeilo Flags. — Les couches Siluriennes Inférieures ont été anciennement divisées par Sir R. Murchison en groupes Supérieur, appelé Grès de Caradoc (nous l'avons déjà décrit), et Inférieur, auquel ce géologue a donné le nom de *Llandeilo Flags* (ardoises de Llandeilo), d'après une ville ainsi nommée dans le comté de Caermarthen. Les couches qui composent ce dernier groupe consistent en schiste micacé de couleur foncée, souvent calcaire, couvrant une vaste épaisseur d'argiles schisteuses ordinairement noires. On observe les mêmes couches à Builth, Radnorshire, où elles alternent avec des matières volcaniques. Néanmoins, au-dessus de ces couches types du Llandeilo, le Silurien Inférieur contient, dans les Galles du Nord et du Sud, quelques lits au sein desquels les Pentamères du Silurien Moyen sont associés à des espèces fossiles identiques à celles des ardoises de Llandeilo. Les coraux de la zone calcaire du Llandeilo appartiennent aux genres *Halysites* (fig. 579), *Heliolites*, *Petraia*, *Stenopora*, *Favosites* (fig. 580) et autres (1). Les mêmes roches contiennent des Crinoïdes et des Cystidées d'espèces particulières. Les Cystidées sont les plus nouveaux fossiles que les paléontologistes aient ajoutés à la liste des *Rayonnés*. Leur structure et leurs affinités zoologiques ont été pour la première fois expliquées dans un essai publié par De Buch, à Berlin, en 1845. Ce sont les *Sphæronites* des auteurs anciens; on les rencontre habituellement sous la forme de corps sphéroïdaux, revêtus de plaques poly-

(1) Murchison, *Siluria*, p. 178.

gonales, ayant une bouche à la face supérieure et un point d'insertion pour une tige (presque toujours cassée dans les échantillons) à la face inférieure (fig. 591, *b*). M. Forbes les considère comme des formes intermédiaires entre les Crinoïdes et les Échinodermes. Le Sphæronite représenté dans la figure 591 provient des couches du Llandeilo des Galles (1); on le rencontre aussi en Suède et en Russie.

On cite quelques rares exemples d'étoiles de mer dans les mêmes couches. Les coquilles de Brachiopodes y abondent,

FIG. 591.— *Echinosphærites Balticus*, Eichwald, sp. (de la famille des *Cystidées*).
a. La bouche. — *b*. Le point d'insertion de la tige.
Silurien Inférieur; Galles du Nord et du Sud.

FIG. 592. — *Orthis tricenaria*, Hall.
Demi-grandeur naturelle.
New-York. Canada.

principalement celles des genres *Orthis*, *Leptæna* et *Strophomena* (fig. 591). Les Orthis à côtes très larges et sim-

FIG. 593.— *Orthis vespertilio*, Sow.
Demi-grandeur naturelle.
Shropshire ; Galles du Nord et du Sud.

FIG. 594. — *Strophomena* (*Orthis*) *grandis*, Sow.
Deux tiers de grandeur naturelle.
Horderly, Shrosphire ; Coniston, Lancashire.

ples (fig. 592) sont les plus caractéristiques. Les *Atrypa* et *Spirifer*, si fréquents dans les Siluriens Supérieur et

(1) *Quart. Geol. Journ.*, vol. VII, p. 11; et *Mem. Geol. Surv.*, vol. II, p. 518.

Moyen, abondent peu dans le Silurien Inférieur, ou bien sont limités à la partie supérieure de la série. Les *Chonetes* et *Productus* manquent totalement. Cependant les *Rhynchonella* et *Lingula*, genres qui sont encore représentés par des espèces vivantes au sein des mers actuelles, étaient communs dans l'Océan Silurien.

Parmi les Céphalopodes, on cite des *Orthoceratites* à siphon très large et situé sur le côté, des *Lituites* (fig. 577), *Bellerophon* et quelques mollusques flottants (*Ptéropodes*). Les Crustacés y sont largement représentés par les Trilobites. Les genres *Asaphus* (fig. 595), *Ogygia* (fig. 596) et *Trinucleus* (fig. 597, 598) sont surtout caractéristiques des couches de cet âge, et peut-être leur appartiennent-ils exclusivement. D'autres genres très nombreux les accompagnent. Burmeister, dans son ouvrage sur l'organisation des Trilobites, admet que ces animaux nageaient à la surface des eaux dans les mers ouvertes et près des côtes, se nourrissant de petits animaux marins, et qu'ils avaient la faculté de se rouler en boule pour résister à l'attaque de leurs ennemis. Il pense également qu'ils subissaient diverses transformations analogues à celles des Crustacés vivants. M. Barrande, auteur d'un admirable travail sur les roches Siluriennes de Bohême, a confirmé l'hypothèse de ces métamorphoses par

FIG. 595. — *Asaphus tyrannus*, Murch. Llandeilo, Bishop's Castle, etc.

FIG. 596. — *Ogygia Buchii*, Burm. (*Asaphus Buchii*, Brong.). Builth, Radnorshire, Llandeilo, Caermarthenshire.

des observations qu'il a faites sur plus de vingt espèces prises à différents âges, depuis la sortie de l'œuf jusqu'à l'état adulte. Il les a étudiées à partir du moment où les crustacés ne montraient ni yeux, ni queue, ni articulations, jusqu'à celui où ils avaient acquis leur forme complète et le nombre entier de leurs segments. J'ai emprunté à l'ouvrage

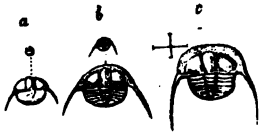


Fig. 597. — *Trinucleus concentricus* (*T. ornatus* Barr.); jeunes individus. *a*. Le plus jeune, grandeur naturelle, et le même grossi; pas d'anneaux encore. — *b*. Un peu plus âgé. Une articulation au thorax. — *c*. Encore plus âgé. Trois articulations au thorax. Les quatrième, cinquième et sixième segments se sont produits successivement, probablement chaque fois que l'animal a changé, par la mue, son enveloppe solide.

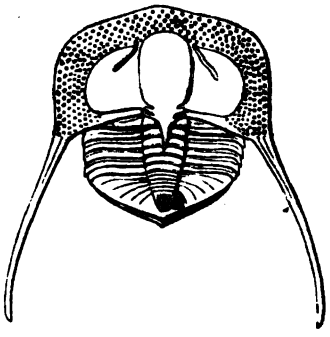


Fig. 598. — *Trinucleus concentricus*, Eaton. Syn., *T. caractaci*, Murch. Nord de l'Irlande, les Galles, Shropshire, Amérique du Nord, Bohême.

de M. Barrande quelques figures représentant des métamorphoses du *Trinucleus* commun (fig. 597, 598).

Une autre roche plus inférieure encore des groupes de Llandeilo ou de Bala est un schiste ardoisier noir, charbon-

Fig. 599. — *a*, *b*. *Didymograpsus* (*Graptolites*) *Murchisonii*, Beck. Llandeilo Flags. Les Galles.

neux, d'une épaisseur considérable, souvent chargé de sulfate d'alumine, et quelquefois, comme dans le comté de

Fig. 600. — *Didymograpsus geminus*, Hisinger, sp. Suède.

Dumfries, contenant des lits d'anthracite intercalés. On a pensé qu'une grande partie de cette matière charbonneuse

pouvait être due à une vaste accumulation de débris d'animaux : en réalité, le nombre de Graptolites que contiennent ces couches est considérable. J'ai recueilli en Suède et en Norwége une quantité de ces mêmes corps au sein des schistes supérieurs et inférieurs à graptolites du système

FIG. 601. — *Rastrites peregrinus*, Barrande. Écosse, Bohême, Saxe.

FIG. 602. — *Diplograpsus folium*, Hisinger. Écosse, Suède.

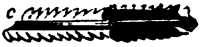


FIG. 603. — *Diplograpsus pristis*, Hisinger, sp. Shropshire, les Galles, Suède.

Silurien. M. Beck, de son côté, m'a écrit de Copenhague que ce pays fournissait des zoophytes fossiles se rapportant aux *Virgularia* et *Pennatula*, genres dont les espèces vivantes habitent les sédiments boueux ou vaseux. Les naturalistes les plus éminents partagent cette opinion.

Au-dessous de ces schistes ardoisiers noirs, on n'a, jusqu'à présent, rencontré aucun graptolite ; mais, dans les Galles du Nord et du Sud, des coquilles et des trilobites caractéristiques des roches Siluriennes Inférieures sont répandus à travers une vaste épaisseur de lits schisteux alternant avec des formations trappéennes, et mesurant parfois, dans leur ensemble, plus de 3000 mètres. On peut en conclure que la puissance totale des couches assignées au Silurien Inférieur, ou groupe de Llandeilo, ne saurait être moindre de 6000 mètres, chiffre auquel il faut ajouter 1500 mètres environ de roches Siluriennes Supérieures. Si ces énormes accumulations étaient exclusivement d'origine sédimentaire, on pourrait croire, en raisonnant par analogie avec d'autres portions de l'écorce solide, qu'elles appartiennent paléontologiquement à plus d'une période ; en d'autres termes, on serait tenté d'admettre que la vie animale et végétale de tout le groupe

a éprouvé pendant son accumulation des changements aussi considérables que ceux observés entre les périodes Devonienne, Carbonifère et Permienne. Mais, dans les archipels volcaniques, aux Canaries par exemple, ne voyons-nous pas les deux causes les plus puissantes connues, l'eau et le feu, produire d'immenses résultats pendant un laps de temps comparativement court? Les coulées de laves, les pluies de cendres volcaniques, le sable meuble, la poussière de scories, les particules de roches réduites à l'état de cailloux ou de sable, et entraînées vers la mer par les torrents, de longues lignes de côte rongées à leur base par l'action destructive d'un océan profond et ouvert, plus que tout cela, l'injection de matières fondues qui, soit au-dessus, soit au-dessous du niveau de la mer, pénètrent entre les laves déjà refroidies, — toutes ces actions réunies peuvent former des masses considérables de matières dans un espace de temps qui serait insuffisant pour qu'il se produisît aucun changement notable dans les espèces. Il doit néanmoins y avoir une limite à l'épaisseur des masses rocheuses, même de celles qui se sont déposées dans des circonstances aussi favorables, car si nous jugeons par analogie, nous voyons que les régions tertiaires volcaniques ne fournissent aucun exemple de roches sédimentaires et ignées qui atteignent une puissance de plus de 7 à 8000 mètres sans que la faune ait changé pendant toute la durée de leur formation; et encore cette épaisseur n'est-elle pas comparable à celle de 15 000 mètres que mesure la masse totale des roches des Galles. Si donc l'observation nous autorise à porter à 7600 mètres la masse totale d'un seul système tel que le Silurien depuis le Ludlow jusqu'au Llandeilo inclusivement, nous pouvons nous attendre à trouver dans la série des roches qui vont suivre le commencement d'un tout autre ensemble d'espèces ou même de genres fossiles. Les faits paraissent confirmer ces prévisions. Je terminerai mon exposé des formations Siluriennes d'Angleterre par les couches du Llandeilo, et je dirai quelques mots de leurs équivalents étrangers.

Je m'engagerais dans une digression trop longue si j'essayais de suivre pas à pas les Siluriens Supérieur, Moyen et Inférieur en Écosse, dans la contrée des Lacs, dans le Cornouailles, et en d'autres parties des îles Britanniques. Pour la connaissance de ces roches en Irlande, le lecteur pourra puiser dans le *Report on Tyrone* du colonel Portlock, dans les ouvrages de MM. Griffith et M' Coy, ainsi que dans les publications des géologues du gouvernement; nous renvoyons particulièrement aux récents travaux de M. Murchison.

Sur le continent Européen la période Silurienne occupe une large surface; mais elle n'a jusqu'à présent montré une grande épaisseur dans aucun pays. En Norwége et en Suède, par exemple, sa puissance totale atteint à peine 300 mètres (1), bien que les Siluriens Supérieur et Inférieur d'Angleterre y soient représentés, et que l'on y ait aussi compris quelques lits de schiste qui viennent, comme nous le verrons plus tard, au-dessous du groupe de Llandeilo. En Russie, les couches Siluriennes paraissent moins épaisses encore, et sont constituées principalement par les Siluriens Moyen et Inférieur, ou par un calcaire contenant le *Pentamerus oblongus*, au-dessous duquel gisent des couches fossilifères correspondant au Llandeilo d'Angleterre. La roche la plus inférieure avec débris organiques que l'on ait découverte jusqu'à ce jour est le *Grès à Ungulites* ou *Grès à Obolus* de Saint-Pétersbourg; cette roche est probablement contemporaine du Llandeilo, et ne présente aucune de ces formes particulières qui caractérisent les *Schistes à Lingules* des Galles, ou la *Faune Primordiale* de Bohême, étudiée par M. Barrande.

Les Schistes et Grès des environs de Saint-Pétersbourg contiennent dans leurs couches sableuses des grains verts, et présentent un état de conservation remarquable eu égard à leur haute antiquité. Les Brachiopodes dominants sont l'*Obolus* ou *Ungulites* de Pander, et un *Siphonotreta* (fig. 604, 605).

(1) Murchison, *Siluria*, p. 321.

Ces deux genres ont été découverts récemment dans notre Calcaire de Dudley.

Coquilles des couches fossilifères les plus inférieures connues de Russie.

Fig. 604. — *Siphonotreta unguiculata*, Eichwald; du grès Silurien le plus inférieur, *grès à Obolus* de Saint-Pétersbourg. *a*. Extérieur de la valve perforé. — *b*. Intérieur de la même, montrant la fin du canal.

Fig. 605. — *Obolus Apollinis*, Eichwald; de la même localité. *a*. Intérieur de la valve ventrale ou plus large. — *b*. Extérieur de la valve supérieure ou dorsale (Davidson).

Parmi les grains verts de ces couches sablonneuses, M. Ehrenberg a récemment (1854) découvert des débris de foraminifères consistant en moules de cellules; sur cinq ou six formes, trois, suivant lui, se rapporteraient aux genres actuels *Textularia*, *Rotalia* et *Guttulina*.

COUCHES SILURIENNES AUX ÉTATS-UNIS.

La position de quelques-unes de ces couches, plissées et fortement inclinées, dans la chaîne des Appalaches, ou presque horizontales, à l'Ouest de cette chaîne, est représentée dans la coupe (fig. 505); mais on peut l'étudier avec bien plus d'avantage au Nord de la même ligne de coupe, dans les États de New-York, de l'Ohio, et autres pays, au Nord et au Sud des grands lacs du Canada. Dans ces contrées, de même qu'en Russie, les couches sont presque horizontales, et se montrent plus riches en fossiles bien conservés qu'en nul autre pays d'Europe. Dans l'état de New-York, où leur succession et les fossiles qu'elles contiennent ont été étudiés avec beaucoup de soin par les géologues du Gouvernement, on a adopté les sous-divisions de la première colonne du tableau suivant :

Sous-divisions des couches Siluriennes du New-York (couches inférieures au Grès d'Oriskany (voy. tableau, p. 168).

Noms consacrés dans le New-York.	Equivalents anglais.
1. Calcaire à Pentamères, supérieur	Silurien Supérieur (ou formations de Ludlow et de Wenlock).
2. — à Encrines	
3. — schisteux à Delthyris	
4. — à Pentamères	
5. — à Tentaculites	
6. Groupe salifère d'Onondaga	
7. — du Niagara	
8. — de Clinton	Silurien Moyen (ou Grès de Caradoc).
9. Grès de Medina	
10. Conglomérat d'Oneida	
11. Grès gris	
12. Hudson River Group	Silurien Inférieur (ou couches de Llandeilo).
13. Ardoise d'Utica	
14. Calcaire de Trenton	
15. — de Black-River	
16. — de Bird's-Eye	
17. — de Chazy	
18. Grès calcifère	
19. — de Potsdam	Cambrien? (ou lits à Lingules, plus anciens que le Llandeilo).

J'ai donné, dans la seconde colonne, les équivalents supposés d'Angleterre. MM. de Verneuil, Sharpe, Hall et tous les paléontologistes européens ou américains admettent une correspondance générale très marquée dans la succession des formes fossiles et même des espèces, depuis les couches supérieures jusqu'aux dernières dans l'ordre descendant; mais il est impossible d'établir le parallélisme pour chaque petite sous-division. Quant aux trois questions qui suivent, les opinions sont un peu partagées.

1° Le Calcaire de Niagara, n° 7, sur lequel la rivière du même nom se précipite à la grande Cataracte, et les schistes qui se trouvent au-dessous, correspondent-ils au calcaire et au schiste du Wenlock d'Angleterre? Parmi les espèces que l'on trouve dans cette formation, en Amérique et en Europe, sont les *Calymene Blumenbachii*, *Homalonotus delphinocephalus* (fig. 587), ainsi que plusieurs autres trilobites; les *Rhynchonella Wilsoni* et *R. cuneata*, *Orthis elegantula*, *Pentamerus galeatus*, et différents autres bra-

chiopodes; l'*Orthoceras annulatum* comme Céphalopodes, et le *Favosites Gothlandica*, avec d'autres grands coraux.

2° Le groupe de Clinton, n° 8, contenant le *Pentamerus oblongus* et le *P. lævis*, et se rapprochant bien plus par ses espèces fossiles des couches qui le recouvrent que de celles qui le supportent, est-il l'équivalent du Silurien Moyen tel que nous l'avons établi ci-dessus page 184?

3° Le groupe d'Hudson River, n° 12, et le calcaire de Trenton, n° 14, s'accordent-ils paléontologiquement avec les Llandeilo Flags, contenant comme eux plusieurs espèces de trilobites, et des fossiles identiques, tels que *Asaphus* (*Isotelus*) *gigas*, *Trinucleus concentricus* (fig. 598, p. 190), ainsi que diverses coquilles : *Orthis striatula*, *Orthis biforata* (ou *O. lynx*), *O. porcata* (*O. occidentalis* de Hall), *Bellerophon bilobatus*, etc.? (1).

Dans son rapport sur les mollusques que j'avais recueillis au sein des couches de l'Amérique du Nord (2), M. Sharpe estime que le nombre des espèces communes aux deux côtés de l'Atlantique varie entre 30 et 40 pour 100. Ce résultat, bien qu'un examen plus approfondi doive sans aucun doute le modifier plus tard, prouve néanmoins qu'un grand nombre des espèces sont largement distribuées suivant l'étendue. Un chiffre comparativement peu considérable de gastéropodes et de bivalves lamellibranches du nord de l'Amérique paraît susceptible d'identification spécifique avec les fossiles d'Europe, tandis que plus des deux cinquièmes des brachiopodes dont ma collection est principalement composée, ne présentent pas de différences sensibles. On peut rappeler, pour expliquer le fait, que les brachiopodes récents (spécialement ceux du type des Orthis) vivent dans les eaux profondes, et qu'ils ont dû se répandre sur une plus vaste étendue que les coquilles habitant près des côtes. La prédominance des mollusques bivalves de cette classe particulière a fait donner

(1) Voyez Murchison, *Siluria*, p. 414.

(2) *Quart. Geol. Journ*, vol. IV.

quelquefois à la période silurienne le nom d'*âge des brachiopodes.*

Les couches calcaires n^os^ 15, 16, 17 et 18, qui sont au-dessous du Calcaire de Trenton, ont été classées par M. de Verneuil dans le Silurien Inférieur; elles contiennent, en effet, certaines espèces telles que *Asaphus* (*Isotelus*) *gigas*, *Illænus crassicauda* et *Orthoceras bilineatum*, qui sont répandues également dans le Calcaire de Trenton superposé (1). Mais, suivant M. Hall, l'identification de l'*Illænus* serait le résultat d'une erreur à laquelle ce géologue confesse avoir lui-même contribué, et ces couches inférieures contiendraient, d'après lui, un ensemble très distinct d'espèces dont trois ou quatre seulement, sur quatre-vingt-trois, passeraient dans les formations supérieures (2).

Quoi qu'il en soit, le Calcaire de Black River, n° 15, contient certaines formes d'*Orthoceras* de dimensions énormes (quelques-uns atteignent 2 mètres à 2^m^,75 de long!), appartenant aux sous-genres *Ormoceras* et *Endoceras*, et paraissant représenter le Silurien Inférieur, ou Calcaire à Orthocères de Suède. De plus, le facies général de la faune de toutes ces couches se ressemble essentiellement.

Un autre moyen de pousser la comparaison de nos couches du Llandeilo européen aussi bas qu'au grès calcifère, nous a été fourni par les recherches de M. Logan au Canada, et l'étude que M. Salter a faite des fossiles recueillis par le Géologue de l'État du Canada, près de l'extrémité S.-E. de la rivière de Ottawa. En cette dernière localité, une masse calcaire renferme des espèces communes à toutes les couches comprises entre le Grès Calcifère, n° 18, et le Calcaire de Trenton, n° 14. L'*Asaphus gigas* et une autre espèce bien connue de Trenton s'y trouvent mêlés avec le *Maclurea* (*Euomphalus* de gauche, fig. 606), genre caractéristique du Calcaire de Chazy, ou n° 17. On y rencontre aussi une

(1) *Soc. Géol. France*, *Bulletin*, vol. IV, p. 631, 1847.

(2) Hall; Forster et Whitney, *Report on Lake Superior*, Pt. II, 1851.

autre espèce du Calcaire de Trenton, le *Murchisonia gracilis* (fig. 607) (1). L'une des coquilles les plus communes est le

Fossiles des Allumette-Rapides, rivière Otawa, au Canada.

Fig. 606. — *Maclurea Logani*, Sulter. — *a*. La coquille. — *b*. Son curieux opercule.

Raphistoma ? (*Euomphalus*) *uniangulatum*, Hall, espèce caractéristique du Grès Calcifère lui-même dans le New-York.

Fig. 607. — *Murchisonia gracilis*, Hall. Fossile caractéristique du Calcaire de Trenton. Ce genre est commun dans les roches Siluriennes Inférieures.

Au Canada, de même que dans l'État de New-York, le Grès de Potsdam gît au-dessous de ces roches calcaires, mais il contient une série différente de fossiles. On a reconnu des couches siluriennes sur des points du globe encore plus éloignés de l'Europe, par exemple dans l'Amérique du Sud, en Australie, et récemment dans l'Inde. Partout les types de la vie organique permettent d'assigner aux roches une origine contemporaine, mais les espèces fossiles sont différentes, et montrent le peu de fondement de l'ancienne hypothèse qui admettait au sein des mers primordiales la diffusion universelle d'une faune spécifique uniforme ; des provinces géographiques distinctes ont évidemment existé aux temps les plus anciens comme aux plus modernes (2).

Les roches Siluriennes ont-elles été formées dans une eau profonde ? — M. E. Forbes admet que la majeure partie de la faune Silurienne indique une mer profonde de plus de 130 mètres. Ses arguments sont, d'abord, la petite taille du

(1) Logan, *Report. Brit. Assoc. Ipswich*, pp. 59, 63.

(2) E. Forbes, *Anniv. Address*, 1854, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. X, p. 38.

plus grand nombre des Conchifères; ensuite la rareté des Pectinibranches (univalves spirales); puis l'abondance des mollusques flottants tels que *Bellerophon*, *Orthoceras*, etc., et celle des Brachiopodes du type *Orthis*; enfin l'absence ou la très grande rareté des poissons fossiles.

On sait parfaitement aujourd'hui que certaines Térébratules qui vivent sur la côte d'Australie ne s'éloignent pas des eaux basses; mais toutes les espèces connues dont la forme se rapproche de l'*Orthis* éteint ne se rencontrent que dans les profondeurs de la mer. Il faut remarquer aussi que M. Forbes, en émettant son opinion, n'ignorait pas l'existence d'anciennes plages autour de la mer Silurienne, dans le Shropshire, et la présence d'espèces littorales de cette antique date dans l'hémisphère septentrional. Ces faits ne contrarient point sa théorie, car il a démontré que, sur la côte de Lycie, des couches de mer profonde étaient, de nos jours même, en voie de formation près d'une terre élevée et escarpée.

Si nous eussions découvert un ancien delta et quelque large rivière Silurienne, nous aurions sans doute une connaissance plus positive des animaux habitant les eaux peu profondes, saumâtres ou fluviatiles, et en même temps de la flore terrestre de la période dont il est ici question. Soutenir qu'il n'y a pas eu de delta dans la région Silurienne entière serait, de notre part, une hypothèse toute gratuite; c'est absolument comme si les habitants des îles madréporiques du Pacifique prétendaient généraliser sur la condition actuelle de la surface totale du globe.

GROUPE CAMBRIEN.

Cambrien Supérieur. — Il nous reste à étudier maintenant les couches fossilifères inférieures au Llandeilo; elles forment, comme nous l'avons vu, la base de la grande série Silurienne. S'appuyant sur l'autorité de M. Salter, Sir R. Murchison(1) a donné une liste de quatre-vingt-seize espèces fossiles,

(1) *Siluria*, p. 485.

examinées soit par lui, soit par M. Coy, et qui sont communes aux couches Siluriennes Supérieures et Inférieures, ou, en d'autres termes, qui se trouvent à la fois dans les couches du Wenlock ou du Ludlow et dans la formation du Llandeilo. Ainsi répandues au sein des groupes supérieur et inférieur, ces espèces montrent que, indépendamment du lien fourni par le Caradoc ou Silurien Moyen, il existe un rapport tel entre les deux divisions principales, qu'il est naturel d'assigner le tout à une même et grande période. Vouloir donc donner un nouveau nom aux couches du Llandeilo, et leur assigner, par exemple, celui de *Cambrien*, comme l'ont fait récemment quelques géologues, c'est violer toutes les règles ordinaires de la classification, et jeter la confusion dans une nomenclature depuis longtemps adoptée, déduite, du reste, de principes paléontologiques parfaitement établis.

Dans le Shropshire, région classique qui a fourni à M. Murchison le premier type du groupe Silurien, les formations inférieures au Llandeilo consistent en roches quartzeuses dépourvues de fossiles, ou ne fournissant guère d'autres traces organiques que d'obscurs fucoïdes. Dans la Galles du Nord, au-dessous du Calcaire de Bala, groupe qui représente l'équivalent des ardoises de Llandeilo, M. Sedgwick a découvert une vaste épaisseur de roches sédimentaires et volcaniques dont il a étudié avec soin les caractères lithologiques et les traits physiques, et qu'il a divisées en plusieurs formations très distinctes. Prises collectivement, ces roches constituent la partie principale des couches auxquelles il a donné le nom de *Cambrien*. Elles paraissaient dépourvues de calcaire; mais, dans un groupe de grès micacés, M. Davis a recueilli, en 1846, une *Lingula*, et c'est de cette circonstance que vient le nom d'*ardoises à Lingules*. Dans ces ardoises, qui mesurent de 400 à 600 mètres de puissance, on a trouvé plus tard un grand nombre d'autres fossiles, différant, quant aux espèces, de ceux des couches du Llandeilo. Parmi ces fossiles, sont des Trilobites, *Agnostus* et *Conocephalus* (voy. pour le genre, fig. 514), et quelques rares Brachiopodes, ainsi que

des Bryozoaires qui n'ont pas encore été publiés par nos Géologues de l'État. Dans les Schistes Noirs Inférieurs de la Galles du Nord, on cite un Trilobite appelé *Parodoxides* (voy. fig. 613), forme encore plus caractéristique de cette époque ; il y existe aussi un autre Trilobite du genre *Olenus* (fig. 610), et un Crustacé Phyllopode (fig. 608).

Fossiles des *Lingula Flags*, ou Roches Fossilifères les plus inférieures d'Angleterre.

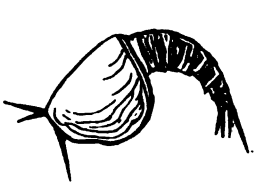


FIG. 608. — *Hymenocaris vermicauda*, Salter. Crustacé Phyllopode. Demi-grandeur naturelle.

FIG. 609. — *Lingula Davisii*, M'Coy.
a. Demi-grandeur nat.
b. Tordue par le clivage.

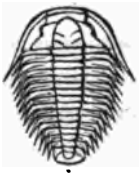


FIG. 610. — *Olenus micrurus*, Salter. Demi-grandeur naturelle.

Lingula Flags **de Dolgelly et Ffestiniog ; Galles du Nord.**

Entre le Calcaire de Bala et les Lingula Flags existe, comme nous l'avons déjà vu, une série de couches de 3 350 mètres d'épaisseur, dans lesquelles on rencontre des *Graptolites* et certaines espèces d'*Asaphus*, *Calymene* et *Ogygia*. Ces couches, jusqu'à présent du moins, paraissent se rapporter à la série Silurienne, mais on ne peut encore établir une démarcation exacte entre elles et les Lingula Flags.

Nous avons remarqué aussi que la faune fossile, quelle qu'elle soit, que l'on viendra à découvrir ultérieurement au sein des couches Cambriennes, consistera essentiellement en espèces et même en genres tout à fait distincts. En effet, bien que les périodes géologiques soient loin d'avoir une valeur égale relativement au temps, et que nos lignes de démarcation puissent être souvent un peu arbitraires, nous n'avons encore observé, sur aucun point du globe, une succession de roches montrant une épaisseur de 13 700 mètres (même en supposant la masse formée en partie de matières volcaniques), sans la rapporter à une période bien caractérisée par une faune particulière.

La formation qui vient au-dessous du Calcaire de Bala et des lits de grès qui lui sont associés dans la Galles du Nord, comprend certaines couches de plus de 2000 mètres de puissance, appelées schistes et porphyres d'Arenig. Plus bas, on rencontre, sur une épaisseur de 300 mètres, les Schistes de Tremadoc; enfin, les Lingula Flags, déjà décrits, et qui mesurent plus de 450 mètres. D'accord avec M. Salter, j'ai classé provisoirement cet ensemble dans le groupe Cambrien Supérieur.

Cambrien inférieur. — Aux Lingula Flags succède, en descendant, une autre série que M. Sedgwick a nommée le Groupe de Bangor; elle comprend : 1° les Harlech Grits, de 150 mètres d'épaisseur, et les Llanberis Slates, de 300 mètres. Jusqu'à présent, ces formations n'ont offert, dans la Galles du Nord, aucun débris organique; mais, en Irlande, juste en face d'Anglesea et de Caernarvon, des roches du même caractère minéralogique que le Groupe de Bangor, et occupant la même place dans la série géologique, ont fourni deux espèces d'un zoophyte auquel M. Forbes a donné le nom d'*Oldhamia* (fig. 611 et 612). La position de ces roches

Les plus anciens Fossiles connus jusqu'à nos jours (1854).

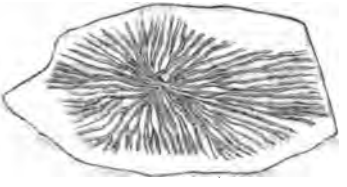


Fig. 611. — *Oldhamia radiata*, Forbes. Wicklow, Irlande.

Fig. 612. — *Oldhamia antiqua*, Forbes. Wicklow, Irlande.

a été fixée par les Géologues du Gouvernement et confirmée par Sir Murchison; de telle sorte qu'aujourd'hui nous possédons là des reliques authentiques des plus anciens corps

organisés connus. Toutefois, nous ne sommes pas encore à même de savoir si ces fossiles appartiennent à la faune des Lingula Flags ou à quelque autre plus ancienne, et nous donnerons provisoirement le nom de Cambrien Inférieur aux couches qui les contiennent.

Bohême. — Dans son admirable monographie des roches paléozoïques de la Bohême, M. Barrande nous a fait connaître, avec toutes leurs particularités, celles qu'il nomme *Schistes Protozoïques*. Ces roches atteignent une épaisseur d'environ 400 mètres, et gisent à la base de tout le groupe Silurien tel que l'entend ce géologue. Les schistes ne sont accompagnés d'aucun calcaire, et M. Barrande les regarde comme contemporains des *Lingula Flags* de la Galles du Nord. La *Faune Primordiale* qui caractérise le terrain n'a fourni encore que de très rares fossiles. Hors les Trilobites, les seuls débris bien constatés sont un Ptéropode, quelques Cystidées et un *Orthis;* toutes les espèces sont nouvelles et exclusives à ce pays. Quant aux Trilobites, ils y sont particuliers même quant aux genres, à l'exception d'un seul (*Agnostus*, fig. 615 et 616). Ces genres sont le *Paradoxides* (fig. 613),

Fossiles des Couches Fossilifères les plus inférieures de Bohême, ou *Zone primordiale* de Barrande.

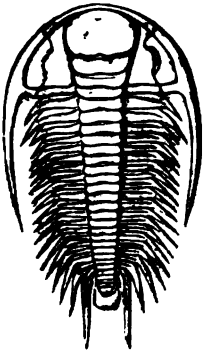


Fig. 613. — *Paradoxides Bohemicus*, Barr., environ un tiers de grandeur naturelle. *Couches Siluriennes les plus inférieures* de Giuetz, Bohême. (Étage C. de Barrande.)

Fig. 614. — *Conocephalus striatus*, Emmrich. Demi-grandeur naturelle. Giuetz and Skrey.

Fig. 615. — *Agnostus integer*, Beyrich. Grandeur naturelle et grossie.

Fig. 616. — *Agnostus Rex*, Barr. Grandeur naturelle. Skrey.

dont on ne compte pas moins de douze espèces, les *Conocephalus* (fig. 614), *Ellipsocephalus*, *Sao* (fig. 617), *Arionellus*

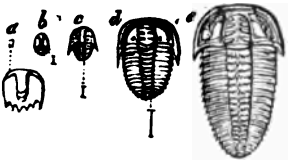


Fig. 617. — *Sao hirsuta*, Barrande ; à ses divers âges. Skrey.

Les petites lignes au-dessous des figures indiquent les grandeurs naturelles. Chez les plus jeunes, *a*, on ne voit encore aucun segment; à mesure que la métamorphose s'avance, *b*, *c*, les segments du corps commencent à se développer ; à l'âge indiqué en *d*, les yeux apparaissent, mais les sutures faciales ne sont pas achevées ; *e* représente l'animal à l'état complet de développement, de demi-grandeur naturelle.

et *Hydrocephalus*. Tous ont une physionomie qui leur est propre, et qu'il faut attribuer à la multiplicité de leurs segments thoraciques, ainsi qu'à la diminution de leur bouclier caudal ou pygidium.

Si les espèces de Bohême ont différé jusqu'à présent des espèces connues d'Angleterre, il faut l'attribuer principalement au très petit nombre de ces dernières, ou peut-être à l'influence de causes géographiques. Quoi qu'il en soit, ce fait paraît confirmer l'hypothèse d'une *zone primordiale* caractérisée par des fossiles distincts de ceux du Llandeilo, ou groupe Silurien Inférieur ; car les deux autres formations siluriennes, plus élevées dans la série adoptée par Barrande, ont chacune plusieurs espèces qui se rencontrent aussi dans les sous-divisions successives de la série anglaise.

L'un des Trilobites *primordiaux* du genre *Sao*, forme que l'on n'a encore rencontrée, jusqu'à présent, sur aucun autre point du globe, a fourni à M. Barrande un magnifique exemple des métamorphoses de ces animaux, qu'il a pu suivre à plus de vingt époques successives de leur développement. J'ai représenté, dans les figures ci-dessus, quelques-unes de ces transformations. Le lecteur pourra ainsi prendre une idée de la manière graduelle dont apparaissaient les différents segments du corps et les yeux. Lorsqu'on réfléchit à l'état ordinairement altéré et cristallin des roches de cet âge, et à

l'absence de fossiles que l'on y remarque sur la plus grande partie de la Galles du Nord, de l'Irlande et du Shropshire ; lorsque, d'un autre côté, on voit l'étude des couches de Bohême fournir la connaissance des plus minimes détails relatifs à l'histoire naturelle de ces crustacés, on est justement étonné, et l'on conçoit un légitime espoir que les géologues pourront un jour jeter quelque lumière sur la condition de la planète et de ses habitants à des époques de beaucoup antérieures à celle du Cambrien ; car les points du globe qui ont été soumis à un examen aussi approfondi que la Galles du Nord et la Bohême sont insignifiants relativement à ceux qui restent à connaître. Chaque jour, spécialement aux États-Unis et au Canada, on découvre de nouvelles localités où l'on peut étudier des couches aussi anciennes ou plus anciennes que les *schistes primordiaux*.

Suède et Norwége. — Les Lingula Flags de la Galles du Nord, et les *schistes primordiaux* de Bohême, sont représentés en Suède ; les fossiles en ont été décrits par M. Angelin dans sa *Palæontologica Suecica* (1852-54). Les *schistes alunifères*, qui reposent sur un grès à fucoïdes, contiennent des trilobites, genres des *Paradoxides*, *Olenus*, *Agnostus* et autres ; quelques-uns de ces genres, le dernier mentionné par exemple, présentent des formes rudimentaires et les segments du corps peu développés ; ils sont dépourvus d'yeux ; chez d'autres, comme le *Paradoxides*, les segments sont extrêmement multipliés. Ces particularités s'accordent avec les caractères des crustacés que l'on rencontre dans les couches du Cambrien Supérieur.

États-Unis et Canada. — J'ai déjà établi, page 195, la position relative du Grès de Potsdam qui, pendant longtemps, a été considéré comme la formation fossilifère la plus inférieure connue aux États-Unis et au Canada. Je l'ai observé sur les rives du Saint-Laurent et sur les bords du lac Champlain ; dans certaines localités, à Keesville par exemple, ce grès est quartzeux, à grains fins, passant presque à un vrai quartzite. Il se divise en couches horizontales à sur-

faces ondulées tout à fait semblables à celles des ardoises à lingules d'Angleterre, et remplies d'une petite *Lingula* de forme ronde, si abondante, que la roche se partage par plans parallèles, absolument comme certains grès micacés. Cette formation a 215 mètres de puissance au Canada ; la portion inférieure est un conglomérat avec cailloux roulés de quartz ; la portion supérieure est un grès à fucoïdes, percé de petits trous verticaux très caractéristiques et qui paraissent avoir été produits par des annélides (*Scolithus linearis*).

Sur les bords du Saint-Laurent, près de Beauharnais et ailleurs encore, on observe, à la surface des lits ondulés dont ce fleuve est encaissé, de nombreuses empreintes fossiles signalées pour la première fois, en 1847, par M. Abraham de Montréal, et que l'on supposa produites par des tortues ; mais M. Logan en ayant envoyé à Londres quelques plaques dont plusieurs offraient des traces en relief, M. Owen les examina et crut devoir rejeter les déterminations antérieures. Pour ce savant, les empreintes n'appartiennent ni à des chéloniens, ni même à aucun animal de l'embranchement des vertébrés. Il incline à croire qu'elles sont dues à plusieurs espèces différentes d'un animal articulé, probablement voisin du *Crabe Royal* ou Limule. Entre les deux rangées d'empreintes, court une sorte de sillon médian que le professeur suppose avoir été tracé par un appendice caudal plutôt que par une portion saillante du tronc. Quelques-uns des individus paraissent avoir eu trois, et d'autres quatre paires de membres conformés pour la marche. La distance en travers des deux rangées varie de 10 à 15 centimètres, ce qui indique un animal d'une taille de beaucoup supérieure à celle de tous les individus découverts jusqu'à présent dans des couches aussi anciennes. Cet exemple nous prévient contre le danger de tirer des conclusions trop absolues de faits purement négatifs, relativement à l'extrême pauvreté de la faune des mers primordiales.

D'après M. Logan (1), les couches du Silurien Inférieur

(1) *Quart. Geol. Journ.*, vol. VIII, p. 210.

et le Grès de Potsdam au Canada, reposent en stratification discordante sur une série encore plus ancienne de roches aqueuses, laquelle, ajoute ce géologue, pourrait être le Cambrien (Cambrien Inférieur, ou peut-être même une formation plus ancienne); cette série comprend des conglomérats et des lits calcaires qui recèlent des nodules fréquents de phosphate de chaux. Pour assigner à ces roches contournées une origine aqueuse, M. Logan se fonde sur la présence de cailloux roulés de quartz dans les conglomérats. Cette série ancienne, en y comprenant les masses ignées qui lui sont associées, atteint, dans le district du lac Huron, une épaisseur de plus de 3000 mètres, et renferme les roches cuprifères de cette partie du Canada. Au-dessous, reparaît le gneiss dont les couches renferment des marbres, de grands et de petits cristaux de phosphate de chaux. Ce phosphate, M. Logan le suppose, « a peut-être eu quelque rapport avec la vie dans ces roches anciennes. »

Au frontispice de cet ouvrage, et fig. 83, t. I, p. 96, nous avons représenté une coupe de la côte d'Écosse, où les couches devoniennes reposent en stratification transgressive sur des schistes siluriens fortement inclinés, et j'ai cité à ce sujet les réflexions éloquentes de Playfair à ce moment pathétique où, se trouvant en société de son élève Hutton, son regard plongea « si profondément dans l'abîme du temps. » Mais, dans la région des lacs du nord de l'Amérique, le Grès de Potsdam, qui forme la série supérieure ou horizontale, est plus ancien que les couches mêmes les plus inclinées de Saint-Abb's Head en Écosse. On rencontre au Canada des monuments d'une autre période plus reculée, et comme Playfair, on pourrait s'écrier : « Le raisonnement pénètre en des régions où l'imagination ne saurait se hasarder à le suivre. »

Vallée du Mississipi Supérieur. — M. Dale Owen a publié récemment, dans sa description du Wisconsin (1852), une esquisse graphique des roches sédimentaires qui bordent la partie haute du Mississipi, et qui gisent à la base de toute la série silurienne. Ces roches ont quelques centaines de mètres

d'épaisseur; la plupart ressemblent au Grès de Potsdam, mais les étages supérieurs renferment des bandes intercalées de calcaire magnésien, et les étages inférieurs quelques lits argileux. Au nombre des coquilles qu'elles recèlent, on cite des espèces de *Lingula* et d'*Orthis*, et plusieurs *Trilobites* du nouveau genre *Dikelocephalus* (fig. 618). Ces roches, que l'on rencontre dans l'Iowa, le Wisconsin et le Minnesota, paraissent destinées à jeter plus tard un grand jour sur l'état de la vie organique pendant la période Cambrienne. Nous avons déjà mentionné six couches contenant des trilobites, et séparées par des assises de 3 à 45 mètres de puissance.

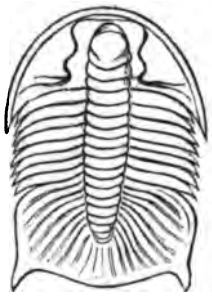


FIG. 618.—*Dikelocephalus Minnesotensis*, Dale Owen. Un tiers de diamètre. Grand crustacé du groupe des Olénoïdes. Grès de Potsdam. Chutes de Sainte-Croix, sur le Mississipi supérieur.

Rapport entre les faunes Silurienne et Cambrienne. — Il paraît évident que de grands rapports existent entre les faunes du Cambrien et du Silurien Inférieur, bien que toutes les espèces à peu près soient distinctes; mais ces rapports ne sauraient être plus étroits que ceux existant entre le Silurien Supérieur et le Devonien. Je fonde mon assertion sur les faits suivants : en Bohême, la faune Cambrienne ou Primordiale de Barrande est la mieux développée; elle se compose principalement de trilobites ; or plus des deux tiers des genres de cet ordre, et toutes les espèces (plus de vingt) sont, à une seule exception près (l'*Agnostus pisiformis*), différentes des formes du Silurien. M. Barrande fait remarquer que sur trente-neuf genres siluriens de trilobites, plus de onze passent au Devonien. Si donc on n'avait que des trilobites dans ce dernier terrain, les rapports génériques paraîtraient plus étroits entre la faune du Silurien et celle du Devonien qu'entre la faune du Silurien et celle du Cambrien; de plus, bien que les roches d'Angleterre appartenant à cette époque ne soient pas parfaitement connues dans leurs détails,

les espèces, du moins, qu'elles contiennent paraissent toutes distinctes. Il en est de même pour les fossiles des couche de Suède, et, comme nous l'avons vu, pour ceux des couches d'Amérique.

Par conséquent, la faune de cette période possède un caractère particulier qui semble nous reporter à un point plus reculé dans l'histoire de la vie organique.

PÉRIODE SUPPOSÉE D'ANIMAUX INVERTÉBRÉS.

Nous avons vu que, dans la partie supérieure du système Silurien, il existait près de Ludlow un lit à ossements, et que ce lit abondait en débris de poissons, dont quelques-uns très élevés en organisation et se rapportant au genre *Onchus*. Sir Murchison a fait connaître ces ichthyolites, et les a considérés comme « les êtres les plus anciens de leur classe ». Dans son nouvel ouvrage, intitulé *Siluria*, ce savant maintient sa première opinion, et observe que les actives recherches de ces dernières quatorze années, en Europe et en Amérique, « n'ont pas réussi à modifier cette généralisation ; on peut regarder, ajoute-t-il, le système Silurien comme représentant une longue période primitive pendant laquelle aucun animal vertébré n'a vécu. »

C'est un fait certainement bien digne d'intérêt que, jusqu'à ce jour, on n'ait cité encore aucun débris de poissons dans aucune couche plus ancienne que la base du Ludlow Supérieur. Lorsqu'on réfléchit au nombre de Mollusques, Echinodermes, Coraux, Trilobites et autres fossiles que l'on a déjà obtenus des couches siluriennes inférieures au Ludlow, on se demande comment au sein de ces couches qui ont été étudiées avec autant de soin et sur une aussi vaste étendue que n'importe quelle autre série de formations fossilifères, on n'a pas rencontré quelques Ichthyolites. Cependant, quelle que soit la valeur du fait, nous sommes en droit de ne point admettre sans hésitation que le globe, après avoir été habité depuis longtemps par toutes les grandes classes d'Invertébrés, soit

resté totalement dépourvu d'animaux Vertébrés. Rappelons-nous d'abord que l'on n'a découvert ni insectes, ni coquilles terrestres, ni mollusques pulmonés d'eau douce, ni crustacés terrestres, ni plantes (excepté des Fucoïdes) dans les roches inférieures au Silurien Supérieur. Mais on explique l'absence de ces divers animaux en supposant que tous les dépôts connus de cette époque auraient été formés au sein de mers éloignées des terres ou bien au delà de l'influence des rivières. Sur quelques points, comme dans la Galles du Nord et dans l'Amérique septentrionale, on a rencontré, il est vrai, certains dépôts d'eau basse ou même de rivage, mais on peut dire d'une manière générale que les dépôts siluriens jusqu'à ce jour connus ont montré sans exception un caractère marin plus qu'aucune autre formation d'importance comparable.

Un fait curieux, et qui n'est peut-être pas simplement une coïncidence fortuite, c'est que la couche unique où l'on ait signalé des débris de plantes terrestres est aussi la seule dans laquelle on ait trouvé des ossements de poissons. Les lits à ossements, en général, par exemple celui du Lias près de Bristol, ceux du Trias près de Stuttgard, du Calcaire carbonifère aux environs de Bristol et d'Armagh, enfin celui du Ludlow Supérieur, contiennent des dents et des os complétement roulés, et indiquant un long transport. L'association de spores de Lycopodiacées aux os de poissons du Ludlow montre que les plantes ont été arrachées par les eaux de quelque terre ferme existant alors, puis transportées et accumulées pêle-mêle avec les ossements dans un réceptacle sous-marin. Plus habituellement, toutefois, le Ludlow Supérieur tout comme le Silurien Inférieur, est dépourvu de plantes aussi bien que d'Ichthyolites.

On a supposé que les Céphalopodes, durant la période Silurienne, avaient été assez abondants pour suppléer à la fonction des poissons; nous répondrons que ces deux classes existent cependant à la fois dans le Silurien Supérieur, qu'elles habitèrent ensemble les mers Carbonifère et Liassique, comme on les voit encore aujourd'hui en diverses

parties de l'Océan. Avouons aussi que nous ne savons encore que trop peu de chose relativement à la distribution des os, des dents, ou des cadavres de poissons sur le fond de l'Océan actuel, pour avoir le droit de donner comme base à des théories l'absence de ces sortes de débris sur de vastes étendues aux époques primitives.

Les naturalistes qui, de nos jours, ont exploré le lit de la mer, nous apprennent qu'en général les restes de vertébrés y sont aussi rares que sur le sol d'une forêt où des milliers de mammifères et de reptiles ont vécu pendant des siècles. Dans l'été de 1850, MM. Forbes et Mc. Andrew ont dragué le fond des mers Britanniques depuis l'île de Portland jusqu'au Land's End dans le Cornouailles, et de là jusqu'aux Shetland; ils ont recueilli et classé les différents corps organiques. La liste des espèces d'Invertébrés Rayonnés, Mollusques ou Articulés, marins, qu'ils ont ainsi retirés, est considérable, et le nombre des individus énorme; mais les seuls exemples d'animaux vertébrés ont été quelques os de l'oreille et deux ou trois vertèbres de poisson : en tout, six échantillons.

Un fait plus extraordinaire encore a été observé par M. Mc. Andrew. Ce naturaliste, qui a soumis au draguage les grands *Ling Banks*, bancs sous-marins que fréquente la morue, aux îles Shetland, n'a pas retiré de ces sortes de fonds un seul ossement ou dent de poisson, bien qu'il ait quelquefois extrait du limon des poissons vivants. C'est peut-être ici l'un des faits les plus singuliers que l'on ait constatés, car on n'ignore pas que, dans certains parages, le fond des mêmes mers du Nord est couvert d'ossements de poissons récents. Ainsi que je l'ai rapporté dans mes *Principes de Géologie* (Index, *Vidal*), deux lits à ossements ont été découverts par les hydrographes anglais, l'un dans la mer d'Irlande, et l'autre dans la mer qui avoisine les îles Feroë, le premier s'étendant sur 3 kilomètres, et le dernier sur 5 kilomètres et demi de longueur. Partout, dans ces parages, le plomb a ramené des vertèbres de poissons, de profondeurs qui ont varié de 80 à 430 mètres. Ces lits à osse-

ments peuvent se comparer aux lits analogues du Ludlow Supérieur, et de nos jours comme à l'époque Silurienne, sur le fond de l'Océan existent d'autres larges surfaces où ne se rencontrent point d'ossements ni dans le limon ni dans le sable.

Il a pu arriver, quelque étrange que semble le fait, que les poissons n'aient laissé après eux aucun témoignage de leur présence sur les lieux qu'ils ont librement fréquentés, et que, d'un autre côté, les courants aient entraîné leurs ossements en grand nombre vers des régions entièrement dépourvues de poissons vivants. Un tel état de choses eût été en tout point analogue à celui qui de nos jours existe sur les terres habitables, où les squelettes de quadrupèdes, d'oiseaux et de reptiles terrestres, au lieu de s'accumuler sur le sol après la mort de l'animal, au moins dans leurs parties les plus solides, ne tardent pas à être broyés sous la dent des bêtes féroces, ou subissent la loi de la décomposition chimique ; et si, dans un âge futur, un géologue voulait retrouver des témoignages de leur primitive existence, il devrait les chercher ailleurs qu'aux endroits où ces êtres ont vécu. Il aurait à explorer les lieux que les eaux recouvraient alors, et ceux où des ossements et des carcasses auraient probablement été entraînés par les inondations et ensevelis pour toujours au sein des sédiments.

J'ai groupé dans le tableau ci-contre les dates des découvertes principales des différentes classes d'animaux dans les anciennes roches : le lecteur saisira ainsi d'un seul coup d'œil la marche graduelle de nos progrès dans la recherche des animaux vertébrés au sein des formations de plus en plus reculées vers le passé ; il apprendra à ne point considérer l'état actuel de nos connaissances comme la dernière expression de la science relativement aux dates de création de chacune des classes des corps animés.

Dates des découvertes relatives à l'apparition de chacune des classes de vertébrés fossiles, montrant les progrès successifs qui ont été faits dans ce genre de recherches, et la constatation des fossiles dans les roches de plus en plus anciennes.

	Années.	Formations.	Localités.
Mammifères.	1798.	Éocène Moyen (ou B. I, p. 350, t. I)	Paris (Gypse de Montmartre [1]).
	1818.	Oolite Inférieure	Stonesfield [2].
	1847.	Trias Supérieur	Stuttgard [3].
Oiseaux	1782.	Éocène Moyen (ou B. I, p. 359, t. I)	Paris (Gypse de Montmartre [4]).
	1839.	Éocène Inférieur	Londres (Argile de Sheppey [5]).
Reptiles	1710.	Permien (ou Zechstein)	Thuringe [6].
	1844.	Carbonifère	Saarbruck, près Trèves [7].
	1852.	Devonien Supérieur	Elgin [8].
Poissons.	1709.	Permien (ou Kupfer-Schiefer)	Thuringe [9].
	1793.	Carbonifère (Calcaire de Montagne)	Glasgow [10].
	1828.	Devonien	Caithness [11].
	1840.	Silurien Supérieur	Ludlow [12].

[1] Cuvier (Georges), *Bull. Soc. Philom.*, XX. Des ossements avaient été trouvés dans le gypse, quelques années auparavant ; mais c'est dans le Mémoire précité qu'ils ont été déterminés ostéologiquement, et que leur véritable position géologique a été établie.

[2] En 1818, Cuvier, lors d'une visite au Muséum d'Oxford, se prononça sur le caractère d'une mâchoire de Stonesfield, et en fit un mammifère. (Voyez ci-dessus, page 477, tome I.)

[3] Plieninger. (Voyez ci-dessus page 36, tome II.)

[4] Darcet découvrit, et Lamanon figura comme oiseaux fossiles quelques débris de Montmartre, détermination que confirma plus tard Cuvier (*Ossem. fossiles*, art. OISEAUX).

[5] Owen, *Geol. Trans.*, 2e série, 1839, vol. VI, p. 203. L'oiseau fossile découvert la même année dans les schistes de Glaris (Suisse), et d'abord rapporté à la craie, l'est aujourd'hui aux couches Nummulitiques, et peut par conséquent dater d'une époque plus récente que l'Argile de Sheppey.

[6] Le Monitor fossile de Thuringe (*Protorosaurus Speneri*, V. Meyer) a été figuré par Spener, de Berlin, en 1810. (*Miscel.* Berlin.)

[7] Voyez ci-dessus, page 123, tome II.

[8] Voyez ci-dessus, page 147, tome II.

[9] *Memorabilia Saxoniæ subterr.* Leipsick, 1709.

[10] *History of Rutherglen*, par Rev. David Ure, 1793.

[11] Sedgwick et Murchison, *Geol. Trans.*, 2e série, 1828, vol. III, p. 141.

[12] Sir R. Murchison. (Voyez ci-dessus page 175, tome II.)

Observ. Les témoignages fournis par les empreintes de pas, bien qu'ayant leur importance, n'ont pas été compris dans la liste ci-dessus, comme moins exacts que ceux tirés des os et des dents.

Combien d'écrivains vivent encore, et qui, avant l'année 1844, n'admettaient pas le moindre doute sur la non-existence des reptiles avant l'ère Permienne ! Cependant, en moins de dix ans, ils ont pu voir l'époque la plus ancienne connue de la création de cette classe de vertébrés reculer successivement, d'abord vers la période Carbonifère, ensuite vers celle du Devonien Supérieur. Antérieurement à l'année 1818, on croyait généralement que le Palæothérium du gypse de Paris, et ses associés, représentaient les premiers quadrupèdes à sang chaud qui eussent apparu sur la terre. Cette idée était si profondément imprimée dans l'esprit de la plupart des naturalistes, que la découverte des Mammifères de Stonesfield fut impuissante à l'ébranler.

« *Unwilling I my lips unclose—*
» *Leave, oh, leave me to repose.* »

Je ne veux point parler ;
Laissez-moi, de grâce, laissez-moi le repos.

D'abord on contesta à la roche son ancienneté, aux débris leur caractère de mammifères. Et même, longtemps encore après que toute controverse eut cessé à ce sujet, on n'appréciait pas la véritable portée du fait nouveau, quant à la doctrine du développement progressif.

Il est évident que les deux ou trois premières espèces que l'on rencontre dans un pays ou dans des roches d'une époque non déterminée ne sauraient être considérées comme types ou comme termes de comparaison pour évaluer le degré d'organisation d'une faune terrestre, ancienne ou moderne. Supposons que les deux ou trois espèces oolitiques d'abord connues fussent réellement toutes des Marsupiaux, comme on l'a cru à tort pendant un certain temps, le fait était-il suffisant pour autoriser à conclure, avec certains géologues, que les tribus d'animaux à placenta n'avaient point encore été créées. De même, parce que les divers monodelphes récemment reconnus à Stonesfield se sont trouvés des animaux de petite taille et appartenant à la tribu des insecti-

vores, nous ne sommes point en droit d'en déduire que la faune oolitique occupe, dans l'échelle générale d'organisation, un rang aussi peu élevé que celui qui est assigné aux insectivores dans la faune actuelle. Les découvertes dont il est ici question nous montrent bien quelle est la véritable portée des faits négatifs relativement à l'appréciation de certaines questions. Tout zoologiste admettra qu'entre la première création et l'extinction finale de chacun des cinq (1) mammifères oolitiques aujourd'hui connus, il y eut un grand nombre de générations successives ; et, si la répartition géographique de chaque espèce fut limitée (supposition purement gratuite), chaque génération a dû se composer de plusieurs centaines et, probablement, de plusieurs milliers d'individus. Par conséquent, lorsque, pour la première fois, en 1854, on rencontra deux ou trois mâchoires de *Spalacotherium* dans le calcaire de Purbeck, après des échantillons sans nombre de Mollusques et de Crustacés, et des centaines d'insectes, de poissons et de reptiles, on n'apprit pas seulement que ces quadrupèdes avaient individuellement existé à l'époque en question, mais que des milliers et peut-être des millions des mêmes espèces avaient peuplé la terre sans laisser après eux, soit sous la forme d'ossements, soit sous celle d'empreintes, aucun témoignage de leur existence, ou du moins sans que les recherches les plus persévérantes aient pu nous en faire retrouver quelque trace.

Nous remarquerons dans le tableau qui précède qu'un grand nombre des découvertes sont dues à l'habileté et à l'ardeur des géologues anglais. La Grande-Bretagne est jusqu'à

(1) J'avais d'abord écrit *quatre*, mais au moment même où cette feuille était à l'impression (26 septembre 1854), la découverte d'une autre espèce de mammifère insectivore de Stonesfield (*Stereognathus ooliticus*) fut annoncée à l'Association Britannique de Liverpool par M. Charlesworth. Cet insectivore est au moins deux fois plus grand qu'aucune des espèces antérieurement découvertes dans la même formation. On compte donc aujourd'hui, en comprenant le *Spalacotherium* nouvellement trouvé dans le Purbeck (tome I, page 456), cinq mammifères de l'oolite en Angleterre.

présent le seul pays où l'on ait trouvé des mammifères au sein des roches oolitiques; le seul où l'on ait découvert des reptiles dans des couches aussi anciennes que celles du Devonien ; le seul enfin qui ait fourni des ossements d'oiseaux aussi bas que dans l'Argile de Londres. Si la géologie n'eût pas été cultivée avec autant de zèle dans notre île, saurions-nous quelque chose des deux groupes importants de mammifères terrestres plus anciens que la faune du gypse de Paris (considérée jadis comme la plus ancienne qui eût peuplé la terre) ; connaîtrions-nous d'abord le groupe de mammifères de la série de Headon ; puis un autre de date beaucoup plus ancienne, antérieur même à l'Argile de Londres (1) ? Cette dernière formation a déjà fourni des indications de Quadrumanes, de Chéiroptères, de Pachydermes et de Marsupiaux. Si chaque point du globe eût été étudié avec le même soin, — si l'Europe entière, l'Asie, l'Afrique, l'Amérique et l'Australie étaient aujourd'hui aussi bien connues, que de modifications devraient recevoir les dates assignées dans le tableau précédent aux plus anciennes apparitions des poissons, des reptiles, des oiseaux et des mammifères ! Maintenant, si toute autre étendue de pays, par exemple une partie de l'Espagne, venait à être soumise à un nouvel examen, chaque classe de Vertébrés reculerait probablement d'un ou de plusieurs pas vers l'abîme du temps : les poissons pénétreraient sans doute dans le Silurien Inférieur, — les reptiles, dans le Devonien Inférieur, — les mammifères, dans le Trias Inférieur, — les oiseaux, dans la Craie ou l'Oolite ; — les trilobites et les céphalopodes descendraient dans le Cambrien Inférieur, — quelques zoophytes égarés, comme l'*Oldhamia*, dans les roches aujourd'hui nommées *Azoïques*.

Cependant, après ces révisions du tableau, il serait tout aussi facile qu'aujourd'hui de trouver une théorie du déve-

(1) On a signalé récemment un os d'oiseau dans les lits de Woolwich (au-dessous de l'Argile de Londres) ; cette découverte est due à M. Prestwich (*Geol. Quart. Journ.*, vol. X, p. 157).

loppement progressif reposant sur le nouveau corps de faits positifs et négatifs ; car l'ordre de succession chronologique des différentes classes d'animaux fossiles continuerait probablement d'être le même ; — en d'autres termes, nos chances de succès, en suivant les traces de chaque classe vers des époques de plus en plus reculées, deviendraient de plus en plus faibles selon que nous passerions des poissons aux reptiles, puis aux mammifères et enfin aux oiseaux. Nous rencontrerions les Ichthyolithes beaucoup plus répandus à chaque époque, et pénétrant dans la série à de plus grandes profondeurs qu'aucune autre classe de vertébrés fossiles ; et cela se comprend, car, d'abord, les paléontologistes ont beaucoup plus souvent affaire aux couches d'origine marine, et, ensuite, les os de poissons, quelque partielle et capricieuse que soit leur distribution sur le lit de la mer, se rencontrent plus facilement que ceux de reptiles ou de mammifères. L'extrême rareté des oiseaux dans les couches récentes et Pliocènes, même dans celles d'origine d'eau douce, nous conduit aussi à supposer qu'on ne doit trouver leurs débris qu'avec une grande difficulté dans les roches plus anciennes, comme le démontre du reste le tableau ; — on n'en découvrirait même pas dans les couches tertiaires, où l'on peut plus aisément rencontrer des dépôts formés au sein des lacs et des estuaires.

Le seul désaccord qui existe entre les résultats géologiques et ceux que nos draguages pouvaient indiquer *à priori* consiste dans la fréquence des reptiles fossiles et la rareté comparative des mammifères. Il semblerait que, durant les périodes secondaires, sans même en excepter la partie la plus nouvelle de la période Crétacée, il y aurait eu un développement de la classe des reptiles bien supérieur à celui que l'on peut observer de nos jours sur aucun point du globe. La prédominance de cette même classe sur celle des mammifères a dépendu probablement des conditions climatériques et géographiques, car il serait difficile de la rapporter au *développement progressif* par lequel le type vertébré s'est

successivement perfectionné avec le temps. Nous ne saurions fermer les yeux aux preuves positives que nous possédons maintenant d'une création de mammifères antérieure à l'époque de décroissance des reptiles, et même, bien probablement, à celle de leur maximum de développement.

Pour conclure, j'exprimerai seulement ici ma conviction intime, savoir, que nous ne sommes encore qu'au début de nos recherches; que, comme dans les dernières cinquante années, nous serons appelés, pendant le demi-siècle qui va suivre, à remodifier nos premières opinions relatives à la répartition dans l'ordre du temps des différentes classes de vertébrés fossiles. Il serait donc prématuré quant à présent de généraliser sur la non-existence ou même sur la rareté des Vertébrés terrestres ou aquatiques des époques aussi anciennes que celles du Silurien et du Cambrien (1).

(1) Pour les observations sur la rareté des animaux à respiration aérienne dans la houille, voyez ci-dessus, page 131, tome II.

CHAPITRE XXVIII.

ROCHES VOLCANIQUES.

Trapp. — Dérivation de ce mot. — Origine ignée de la roche, d'abord révoquée en doute. — Son facies général et ses caractères. — Cônes et Cratères volcaniques, leur formation. — Composition minérale et texture des roches volcaniques. — Variétés de Feldspath. — Hornblende et Augite. — Isomorphisme. — Roches, comment faut-il les étudier. — Basalte, Trachyte, Greenstone, Porphyre, Scorie, Amygdaloïde, Lave, Tuff. — Agglomérat. — Latérite. — Liste alphabétique, et explication des noms et synonymes des Roches Volcaniques. — Tableau des analyses des minéraux les plus abondants au sein des roches volcaniques et hypogènes.

J'ai décrit jusqu'à présent les roches aqueuses ou fossilifères; il me reste à traiter de celles que l'on peut appeler Volcaniques, dans le sens le plus large de ce mot. Supposons que *a a*, dans le diagramme ci-dessous, représentent des formations cristallines granitiques et métamorphiques, *b b* des

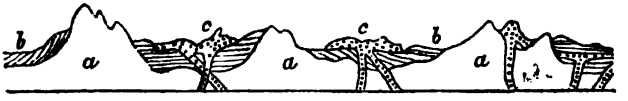


FIG. 619. — *a*. Formations hypogènes, stratifiées et non stratifiées. — *b*. Formations aqueuses. — *c*. Formations volcaniques.

couches fossilifères, et *c c* des roches volcaniques, on observera quelquefois ces dernières, comme nous l'avons dit dans le chapitre premier, perçant à travers *a* et *b*; dans quelques cas aussi elles seront superposées à celles-ci, et accidentellement elles alterneront avec les couches *b b*. On les verra également, sur certains points, passer insensiblement à la division non stratifiée *a*, ou roches Plutoniques.

Lorsque les géologues examinèrent pour la première fois attentivement la structure des contrées Nord et Ouest de l'Europe, ils ignoraient encore complétement les phénomènes des volcans actuels. Rencontrant certaines roches dépour-

vues de stratification et douées d'une composition minérale particulière, ils leur donnèrent différents noms tels que Basalte, Greenstone, Porphyre et Amygdaloïde. A toutes ces roches, que l'on avait reconnu appartenir à une même famille, Bergmann appliqua la dénomination de *Trapp*, d'après *Trappa* (suédois), qui signifie *suite de gradins*. Ce nom fut depuis très généralement adopté dans la nomenclature de la science; on avait en effet observé que plusieurs des roches de cette classe se présentaient en grandes masses tabulaires, d'étendue inégale de manière à former une succession de terrasses ou gradins contre les flancs des vallées. Cette forme paraît dériver de deux causes : d'abord de la terminaison brusque, originelle, de nappes de matière fondue qui ont coulé sur un sol à sec, ou sur le fond de la mer, en couvrant une surface unie. Nous savons en effet que lorsqu'une lave est sortie d'un volcan, la coulée, après avoir cessé de s'avancer et s'être solidifiée, se termine presque toujours en une pente abrupte, comme en *a*, figure 620. Mais, en second lieu, la forme de gradins provient plus fréquemment de la manière dont les masses horizontales de roches ignées, telles que *b c*, intercalées entre les couches aqueuses ou entre les dépôts de poussière et de cendre volcaniques, ont été ultérieurement et à différents niveaux mises à découvert par la dénudation. Une telle configuration n'est point, en réalité, particulière aux roches de Trapp : des lits puissants de calcaire et d'autres sortes de pierre dure sont coupés souvent par des terrasses et des précipices semblables; toutefois, pour ces dernières roches, le phénomène se présente sur une plus petite échelle, les *gradins* sont moins nombreux, moins accentués, et par conséquent se rapprochent davantage, quant à leur structure et à leur composition, des masses qui leur sont associées.

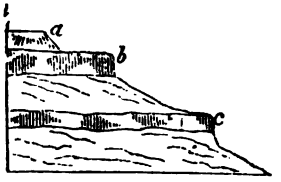


Fig. 620. — Trapp sous forme de gradins.

Bien que les roches trappéennes aient des caractères très variés, le jeune géologue apprendra néanmoins facilement à les distinguer, comme classe, des formations aqueuses. Quelquefois elles présentent, ainsi que nous l'avons dit, la forme de masses tabulaires, mais non divisées par des plans horizontaux de stratification comme le sont les dépôts sédimentaires. Elles constituent souvent des chaînes de collines, et fréquemment elles sont coniques; il n'est pas rare de les rencontrer sous forme de *dykes*, c'est-à-dire de murs coupant les couches fossilifères. La roche est parfois colonnaire, et accidentellement les colonnes se décomposent en boules de grosseur qui varie depuis quelques centimètres à plusieurs décimètres de diamètre. La surface en décomposition se convertit habituellement en une sorte de croûte couleur de rouille, et ce phénomène s'opère par l'oxydation de la matière ferrugineuse qui existe en quantité considérable dans les Trapps contenant de l'Augite et du Hornblende; ou bien, dans les variétés feldspathiques de trapp, cette surface devient opaque par la couleur blanche qu'acquiert le minéral appelé Feldspath. Lorsqu'on examine chacune de ces roches volcaniques dans les parties qui n'ont pas subi de désagrégation, on découvre ordinairement une disposition cristalline d'un ou de plusieurs des minéraux composants. Quelquefois la texture de la masse est cellulaire ou poreuse ; les pores et les cellules ont été souvent remplis, après coup, de carbonate de chaux ou de toute autre substance provenant d'infiltration.

Grand nombre de roches volcaniques produisent, par leur désagrégation, un sol fertile : les éléments qui les composent, la silice, l'alumine, la chaux, la potasse, le fer et autres y sont sans doute en proportions convenables pour le développement de la végétation. Comme ces roches ne font point effervescence dans les acides, on pourrait d'abord supposer qu'elles sont dépourvues de matière calcaire ; mais bien que le *carbonate* de chaux y soit rare, excepté toutefois dans les nodules d'amygdaloïdes, nous verrons que la chaux peut en-

trer largement dans la composition de l'Augite et du Hornblende.

Cônes et Cratères. — Dans les régions où l'éruption volcanique s'est faite à ciel ouvert, et dont la surface n'a jamais été, depuis, soumise à aucune dénudation aqueuse de quelque importance, les cônes et les cratères présentent le trait le plus frappant de la classe de formations dont nous traitons ici. On voit plusieurs centaines de cônes dans la France centrale, dans les anciennes provinces d'Auvergne, du Velay et du Vivarais; ils suivent, la plupart, une direction linéaire, et forment des chaînes entières de montagnes. Bien qu'aucune éruption n'ait eu lieu dans cette contrée depuis les temps historiques, on peut suivre encore d'une manière très distincte les coulées de lave qui, descendues de différents cratères, se sont dirigées vers les vallées voisines. L'origine du cône et du

FIG. 621. — Partie de la chaîne de volcans éteints appelée Monts Dôme, Auvergne. (Scrope.)

cratère n'est point difficile à expliquer, car de nos jours on en a vu plusieurs tout à fait semblables se produire par les éruptions volcaniques. Une crevasse ou fente s'ouvre d'abord au sein de la terre, et par la solution de continuité s'échappent bientôt d'énormes quantités de vapeurs et de gaz. Les explosions sont si violentes que les fragments de pierres lancés de l'intérieur, se heurtant violemment dans les airs, retombent ensuite en atomes sur le sol. En même temps s'élève par la cheminée ou soupirail duquel les gaz s'étaient échappés, une pierre fondue ou *lave*. Quoique extrêmement lourde, cette lave est soulevée par le pouvoir d'expansion des fluides gazeux comprimés dans sa masse, et principalement des vapeurs aqueuses, tout comme on voit de l'eau bouillir à la surface

d'un vase dont le fond chauffé produit également de la vapeur. D'énormes quantités de lave arrivent ainsi à l'air, où elles se séparent en fragments et acquièrent une texture spongieuse par le développement subit des gaz qui s'y trouvaient emprisonnés ; elles donnent lieu dès lors à des *scories ;* d'autres portions se réduisent à l'état de poudre ou de poussière impalpable. La chute sur le sol, autour de l'orifice d'éruption, des différentes matières rejetées, donne lieu à un monticule conique dans lequel les enveloppes successives de sable et de scorie forment des bandes qui plongent suivant toutes les directions à partir de l'axe central. Cependant un vaste creux appelé *cratère* est resté au milieu du monticule, ouvert au passage continuel, ascendant, de la vapeur et des autres fluides gazeux. Quelquefois la lave coule par-dessus les bords de ce cratère, elle augmente ainsi l'épaisseur des parois du cône, en même temps qu'elle double leur solidité ; mais d'autres fois elle rompt le cône sur un point de sa circonférence (fig. 621), et souvent alors elle coule de la fissure jusqu'au pied du monticule, ou jusqu'à une certaine distance de sa base (1).

Composition et nomenclature. — Avant de parler du rapport qui existe entre les produits des volcans modernes et ceux des roches ordinairement appelées trappéennes, avant aussi de décrire les formes extérieures dans chacune de ces deux catégories, ainsi que la position qu'elles occupent au sein de la croûte terrestre, je dois traiter d'abord de leur composition minérale, et indiquer leurs noms. Les variétés dont j'aurai à parler le plus souvent sont le basalte et le trachyte, auxquels j'ajouterai la dolérite, le greenstone, le clinkstone (2) et autres ; les autres variétés, fondées principalement sur des particularités de texture, sont les suivantes : porphyre amygdaloïde, lave, brèche volcanique ou agglomérat,

(1) Pour la description et la théorie des volcans en activité, voyez *Principes de géologie*, chap. XXIV et suiv., et XXXII.

(2) Le *Clinkstone* est le *Phonolite* des auteurs français. (*Note du traducteur.*)

tuff, scories et ponce. On peut dire, d'une manière générale, que toutes ces roches sont composées principalement de deux minéraux ou familles de minéraux simples, *Feldspath* et *Hornblende* (1); mais le feldspath domine beaucoup, même dans celles chez lesquelles l'élément de hornblende fournit le caractère distinctif et la couleur dominante.

Les deux minéraux que nous venons de citer doivent être considérés comme deux groupes plutôt que comme deux espèces. Le feldspath, par exemple, peut être d'abord du feldspath commun (souvent appelé Orthoclase (2) : c'est un feldspath potassique, c'est-à-dire dans lequel l'alcali dominant est de la potasse (voyez le Tableau qui suit, sur la composition des roches); en second lieu, le feldspath peut être de l'Albite, ou feldspath sodique dans lequel l'alcali dominant est de la soude, au lieu de la potasse; en troisième lieu, on peut avoir de l'Oligoclase (3); en quatrième lieu, du feldspath labrador (*Labradorite*), qui diffère des précédents non-seulement par ses reflets opalins, mais aussi par l'angle de ses fragments de cassure ou son clivage, et en même temps par sa composition. Souvent aussi l'on cite deux autres sortes de feldspaths, l'un appelé vitreux, l'autre compacte, lesquels toutefois ne sauraient être considérés comme des variétés d'une importance égale aux précédentes, car les feldspaths albitique et commun existent quelquefois eux-mêmes en cristaux transparents ou vitreux; quant au feldspath compacte (4), c'est un composé de nature moins bien définie, contenant quelquefois une large proportion de soude et de

(1) Les géologues français ajouteraient un troisième minéral, l'*Augite*, mais nous verrons plus loin comment l'auteur entend ici le Hornblende. (*Note du traducteur.*)

(2) *Orthose* des minéralogistes français. (*Note ibid.*)

(3) L'Oligoclase contient aussi plus de soude que de potasse, mais il se distingue essentiellement de l'Albite par sa teneur moindre en silice. Le Labrador est moins siliceux encore que l'Oligoclase; de plus, c'est la chaux qui domine parmi ses bases à un atome d'oxygène. On le désigne souvent sous le nom de *Feldspath à base de chaux*. (*Note ibid.*)

(4) *Petrosilex*, etc. (*Note ibid.*)

potasse; on peut l'appeler une pâte feldspathique et le considérer comme un résidu qui serait resté après cristallisation d'une partie de la matière première. Les analyses les plus récentes ont démontré que toutes les variétés ou espèces de feldspath peuvent contenir à la fois de la potasse et de la soude, quoique dans certaines d'entre elles un seul de ces éléments soit prédominant.

Le groupe dans lequel le *hornblende* domine se compose principalement de deux variétés : le Hornblende proprement dit et l'Augite; on regardait autrefois ces deux variétés comme très distinctes, mais certains minéralogistes éminents ne seraient pas éloignés aujourd'hui de les considérer comme un seul et même minéral, variable seulement par sa forme cristalline, tout comme le soufre natif diffère du soufre artificiel.

L'histoire des changements successifs d'opinion relativement à ces minéraux est vraiment curieuse et instructive. Werner distingua le premier l'augite du hornblende, et la séparation qu'il en fit obtint plus tard la sanction de Haüy, Mohs et autres célèbres minéralogistes. Il fut constaté que la forme des cristaux différait dans les deux espèces, en même temps que la structure indiquée par le *clivage*, c'est-à-dire par cette sorte d'opération qui consiste à diviser le minéral à l'aide d'un ciseau ou par le choc d'un marteau, dans la direction où il cède plus facilement. L'analyse prouva aussi que le premier de ces minéraux contenait habituellement plus de chaux, moins d'alumine, et pas du tout d'acide fluorique ; ce dernier principe, quoiqu'on ne le trouve pas toujours dans le hornblende, entre cependant souvent en quantité minime dans sa composition. Ajoutons à ces caractères l'observation d'un fait géologique particulier, c'est que les deux substances sont très rarement associées dans la même roche; et lorsque le cas arrive, comme dans certaines laves de date moderne, le hornblende occupe, à travers la masse de la roche, les points où la cristallisation a pu s'opérer plus lentement, tandis que l'augite tapisse

simplement les cavités où les cristaux ont dû se produire rapidement. On a remarqué aussi que, dans les scories cristallines des hauts fourneaux, les formes augitiques sont fréquentes, tandis que celles de l'autre minéral manquent totalement; d'après cette circonstance, on a pensé que le hornblende a pu résulter d'un refroidissement lent, et l'augite d'un refroidissement rapide. Cette manière de voir a été confirmée par un fait : Mitscherlich et Berthier sont parvenus à produire artificiellement de l'augite, mais n'ont jamais pu réussir à faire du hornblende. Récemment, Gustave Rose a fondu une masse de ce dernier minéral dans un fourneau de porcelaine, et a trouvé qu'en refroidissant il ne reprenait pas sa forme première, mais invariablement celle de l'augite. Le même minéralogiste a remarqué dans des roches de Sibérie certains cristaux présentant le *clivage* du hornblende, leur forme extérieure appartenant à l'augite.

Si, d'après de tels faits, on est en droit de conclure que la même substance peut prendre indifféremment la forme cristalline du hornblende ou de l'augite, suivant son refroidissement plus ou moins rapide, il est certain, d'autre part, que la variété communément appelée augite, et qui se reconnaît par une forme cristalline particulière, contient d'ordinaire plus de chaux et moins d'alumine que le hornblende proprement dit, bien que les quantités de ces éléments ne soient pas toujours identiques dans la même espèce. Sans aucun doute les faits et les expériences que nous avons relatées ci-dessus démontrent la très grande analogie des deux minéraux; mais cependant la conversion elle-même d'une espèce en l'autre par la fusion et une nouvelle cristallisation ne saurait prouver leur identité absolue. En effet, souvent il existe au sein d'un cristal quelques portions qui ne sont point en combinaison chimique parfaite avec le reste. Par exemple, le carbonate de chaux a quelquefois entraîné une portion considérable de silice sous la forme cristalline qui lui est propre; la silice s'y trouvait mécaniquement mêlée à l'état de sable, et cependant le carbonate de chaux a cris-

tallisé sans sortir de son système. Ceci est un cas extrême; en diverses autres circonstances, un ou plusieurs des ingrédients du cristal ont été exclus de l'union chimique proprement dite ; et, après la fusion, lorsque la masse a cristallisé de nouveau, les mêmes éléments ont pu très bien se combiner dans des proportions semblables ou différentes, et ainsi produire un minéral nouveau ; ou bien l'un des principes gazeux de l'atmosphère, l'oxygène par exemple, s'est uni avec quelqu'un de ces éléments au moment où la matière a passé de l'état de fusion à l'état solide.

Les quantités variables d'impuretés ou matières étrangères dont nous venons de parler, et qui peuvent se rencontrer dans tous les échantillons, excepté dans les cristaux les plus transparents et les plus parfaits, expliquent en partie les désaccords que présentent les résultats obtenus par les chimistes, même les plus exercés, dans l'analyse d'un même minéral. Des cristaux déclarés d'abord appartenir à une seule espèce, d'après les caractères physiques, la forme et les propriétés optiques, ont été souvent reconnus plus tard par d'habiles expérimentateurs, comme composés d'éléments distincts (voy. le tableau sur la composition comparée des minéraux qui constituent les roches). Ce désaccord parut dans le principe devoir renverser toute la théorie atomique, c'est-à-dire la doctrine qui admet une relation fixe et constante entre la forme cristalline ou la structure d'un minéral et sa composition chimique. Toutefois l'anomalie apparente qui menaçait de jeter dans le chaos tout l'échafaudage de la science minéralogique élevé jusqu'à ce moment, ne tarda pas à se relier à des principes fixes, au moyen de découvertes faites par le professeur Mitscherlich, de Berlin. Ce savant avança que la composition des minéraux, qui avait d'abord paru si variable, était gouvernée par une loi générale à laquelle il donna le nom d'*isomorphisme* (de ἴσος, *isos*, égal, et μορφὴ, *morphè*, forme). D'après cette loi, les éléments d'une espèce minérale donnée ne sont pas exclusivement et toujours de la même nature; mais l'un d'eux peut être remplacé par une

portion équivalente d'un autre analogue. C'est ainsi que dans l'augite, en place d'une partie de la chaux se trouve quelquefois du protoxyde de fer ou de manganèse, sans que néanmoins la forme du cristal et l'angle de ses plans de clivage changent. Ces substitutions corrélatives d'éléments particuliers ne sauraient toutefois dépasser certaines limites.

Pyroxène. Ce nom, inventé par Haüy, est souvent employé au lieu de celui d'Augite (1) dans la description des roches volcaniques. C'est à vrai dire un nom général sous lequel on peut comprendre l'Augite, la Diallage et l'Hypersthène, car ces trois minéraux sont des variétés d'une seule et même espèce, ayant une formule chimique identique avec des bases variables.

Amphibole. C'est aussi un nom général sous lequel on peut comprendre le Hornblende et l'Actinolite (2).

Étant terminée cette petite digression sur quelques-uns des progrès récents qui ont été faits en minéralogie, je dois engager maintenant l'élève géologue à s'efforcer autant que possible de se familiariser avec les caractères de cinq, au moins, des minéraux simples les plus abondants au sein des roches. Ces minéraux sont le Feldspath, le Quartz, le Mica, le Hornblende et le Carbonate de Chaux. On ne saurait acquérir ce genre de connaissance par les livres seulement ; il faut voir les objets eux-mêmes, et les étudier avec l'aide d'un maître. Il est bon de s'habituer à reconnaître la nature des roches au moyen de la lentille grossissante. On apprendra d'abord à distinguer le feldspath du quartz ; c'est là un des pas les plus importants à faire quand on commence. Le quartz est beaucoup plus dur que le feldspath et raye ce minéral ; il raye facilement aussi l'acier, sur lequel le feldspath n'exerce

(1) Le nom d'*Augite* est consacré par les minéralogistes français à l'une des variétés principales de l'espèce Pyroxène, caractérisée par la prédominance de l'oxyde de fer et par une couleur noire ; une autre des variétés principales prend le nom de Diopside. (*Note du traducteur.*)

(2) Une troisième variété ou sous-espèce d'amphibole est généralement adoptée en France, la Trémolite ou Grammatite. (*Note ibid.*)

pas d'action, et par lequel, au contraire, il est rayé (1). Mais lorsque ces deux minéraux se rencontrent à l'état grenu et non cristallin, le jeune géologue ne devra point se décourager si, même après une pratique exercée, il se voit incapable de les distinguer par les yeux seulement. Lorsque le feldspath est en cristaux, il est facile, comme nous avons vu, à reconnaître par son clivage ; mais lorsqu'il se trouve en grains, on doit le soumettre à l'action du chalumeau : les bords des fragments s'arrondissent dans la flamme ou dard obtenu par cet instrument, tandis que ceux de quartz sont infusibles. Pour distinguer entre elles les différentes variétés de feldspath que nous avons énumérées, ou celles de hornblende et d'augite, il sera souvent indispensable de recourir à l'emploi du goniomètre, de mesurer l'angle de clivage et déterminer la forme du cristal : cet emploi ne sera pas difficile.

Les caractères extérieurs et la composition des feldspaths sont extrêmement différents de ceux de l'augite ou du hornblende ; il s'ensuit que les roches volcaniques dans lesquelles ces minéraux dominent sont faciles à distinguer entre elles. Mais il s'y rencontre des mélanges des deux éléments en proportions très variées : la masse est quelquefois exclusivement composée de Feldspath, et d'autres fois c'est l'Augite qui domine. Entre ces deux termes extrêmes, on observe toute espèce de passage ; cependant certains composants prévalent tellement dans la nature inorganique, et montrent une si grande uniformité d'aspect et de composition, qu'il est utile en géologie de les considérer comme roches distinctes, et de leur donner des noms tels que Basalte, Greenstone, Trachyte et autres, dont nous allons parler.

Basalte. — Au nombre des roches dans lesquelles l'augite joue un rôle important, on doit citer en première ligne le Basalte. Bien que ce nom de roche nous soit plus familier

(1) Lorsque ces minéraux sont cristallins, il est facile de les distinguer l'un de l'autre par la différence suivante : le feldspath présente une cassure lamellaire due au clivage ; le quartz, une cassure essentiellement vitreuse.

(*Note du traducteur.*)

que celui d'aucune autre sorte de Trapp, il est difficile d'en donner une définition précise, tant l'expression a été généralisée, et quelquefois vaguement employée. On l'a communément appliquée à toute roche trappéenne de couleur noir-bleuâtre, ou gris de plomb, et présentant une texture uniforme et compacte. Dans un sens plus restreint, ce mot indique un mélange intime de feldspath, d'augite et de fer à l'état d'oxyde, mélange auquel est souvent associé un minéral de couleur vert-olive appelé Olivine, en grains distincts ou en masses noduleuses. Le fer y est ordinairement magnétique (1), et souvent accompagné d'un autre métal, le titane. Le mot *Dolérite* est très employé aujourd'hui pour désigner cette roche, lorsque le feldspath en est la variété dite labradorite, par exemple dans les laves de l'Etna. Le Basalte, suivant le docteur Daubeny, serait, dans le sens le plus strict, composé d'un « mélange intime d'augite et d'un minéral zéolitique qui semble avoir été formé aux dépens du labradorite par l'addition d'eau; la présence de l'eau dans toutes les *Zéolites* fait qu'elles bouillonnent au chalumeau, caractère duquel elles ont tiré leur nom (2). Dans ces dernières années, les analyses de M. Delesse et d'autres minéralogistes éminents ont démontré qu'il fallait abandonner l'ancienne opinion admettant l'augite comme minéral prédominant du Basalte, ou même de la plupart des roches trappéennes augitiques. Bien que la présence de l'augite donne à ces roches un caractère distinctif qui les fait contraster avec les Trachytes, leur principal élément de composition est encore le eldspath.

La *Roche d'Augite* (*Augite Rock*), suivant Leonhard, est composée principalement ou entièrement d'augite (3), et certaines veines seraient formées exclusivement de ce minéral; mais la majeure partie des masses qui reçoivent le nom

(1) Appartenant par conséquent à l'espèce fer oxydulé. (*Note du traducteur.*)
(2) *Volcanos*, 2e édit., p. 18.
(3) *Mineralreich*, 2e édit., p. 85.

de Roche d'Augite sont plus riches en feldspath vert qu'en augite.

L'*Amphibolite*, ou *Roche de Hornblende*, est aussi une roche trappéenne qui contient beaucoup de hornblende, et dans laquelle on a même admis que ce minéral est prédominant; M. Delesse a trouvé, au contraire, par l'analyse, que le feldspath en forme le plus souvent l'élément dominant, et que la pâte est feldspathique.

Dans quelques variétés de Basalte, la quantité d'Olivine est très considérable; et, comme ce minéral ne diffère que légèrement par sa composition chimique de la Serpentine (voy. plus loin le tableau des analyses), qu'il contient même une plus grande proportion de magnésie que cette dernière espèce, on a supposé, et l'on a eu raison, qu'avec le temps certains basaltes fortement chargés d'olivine avaient peut-être été convertis par l'action métamorphique en serpentine.

Trachyte. — Ce nom, dérivé de τραχὺς, sert à désigner une classe feldspathique de roches volcaniques à pâte grossière, celluleuse, âpre au toucher. On a généralement considéré cette pâte comme étant principalement de l'albite; mais, suivant M. Delesse, sa composition serait variable; son alcali prédominant est le plus généralement la soude. Dans la masse sont disséminés des cristaux de feldspath vitreux, de mica, et quelquefois de quartz et de hornblende; toutefois le Trachyte proprement dit ne contient pas de quartz. Une des variétés de feldspath qu'on rencontre dans la roche (l'Orthose) est un trisilicate, c'est-à-dire un composé dans lequel la silice est à l'alumine dans la proportion de trois atomes à un (1). Il n'y a pas d'albite dans le Trachyte; mais outre l'orthose, on y distingue un feldspath du 6e système, qui est le plus généralement l'oligoclase.

Le *Porphyre trachytique*, suivant M. Abich, possède la composition ordinaire du trachyte; il compte du quartz en plus, pas d'augite ni de fer titané.

(1) Docteur Daubeny, *On Volcanos*, 2e édit., pp. 14, 15.

Le nom d'*Andésite* a été donné par Gustave Rose à un trachyte des Andes, qui contient le feldspath appelé Andésine, en même temps que du feldspath vitreux (Orthoclase), et du hornblende, disséminés à travers la pâte de couleur foncée.

Clinkstone, ou Phonolite. — Parmi les produits feldspathiques de l'action volcanique, cette roche est remarquable par sa tendance à la division laminaire, caractère qui l'a fait employer comme pierre à couvrir (tégulaire). Elle sonne lorsqu'on la frappe avec un marteau ; de là son nom. Elle est compacte, et ordinairement colorée de bleu-grisâtre ou de brunâtre. Sa composition est variable, c'est presque entièrement du feldspath, et, dans quelques cas, suivant Gmelin, ce serait du feldspath et de la Mésotype. Lorsqu'elle contient des cristaux disséminés de feldspath, on lui donne le nom de *Clinkstone porphyry* (Phonolite porphyrique).

Le *Greenstone* est la plus abondante de ces roches volcaniques qui sont intermédiaires par leur composition entre les Basaltes et les Trachytes. Son nom a été généralement appliqué à tout mélange grenu composé de hornblende et de feldspath, ou d'augite et de feldspath.

Le mot *Diorite* désigne exclusivement le composé de hornblende et de feldspath. D'après les analyses de M. Delesse et d'autres, la cause principale de la couleur verte, dans la plupart des Greenstones, ne serait point le hornblende ou l'augite, mais un silicate qui contient du fer, attaquable par les acides, et ne paraissant pas avoir une composition définie. Toutefois la couleur foncée de la Diorite provient habituellement de particules disséminées de hornblende.

Les Basaltes contiennent moins de silice que les Trachytes, et plus de chaux et de magnésie ; il en résulte que, indépendamment de la présence fréquente du fer oxydulé, ils sont plus lourds. Abich a donc conseillé de peser ces roches pour apprécier leur composition, dans les cas où il est impossible d'isoler leurs minéraux constituants. Ainsi, la variété de basalte nommée Dolérite, qui contient 53 pour 100 de silice, a

pour pesanteur spécifique 2,86, tandis que le trachyte, qui recèle 66 pour 100 de silice, ne pèse spécifiquement que 2,58. Si donc on choisit une roche de composition intermédiaire, par exemple la plus abondante parmi celles du pic de Ténériffe, qu'Abich appelle Trachyte-dolérite, sa teneur en silice étant intermédiaire, c'est-à-dire de 58 pour 100, elle pèsera 2,78, plus, par conséquent, que le trachyte, et moins que le basalte (1). Les basaltes sont de couleur foncée, quelquefois presque noirs, tandis que les trachytes sont gris et même blancs. Comparés aux roches granitiques, les basaltes et les trachytes contiennent chacun plus de soude; les feldspaths potassiques prédominent généralement dans les granits. De plus, les roches volcaniques, qu'elles soient basaltiques ou trachytiques, contiennent moins de silice que les granits, dans lesquels l'excédant de ce dernier élément a cristallisé pour former du quartz. Ce minéral, si important dans les granits, manque au contraire, habituellement, dans les formations volcaniques, ou ne s'y montre jamais dominant.

La fusibilité d'une roche ignée dépasse généralement celle de toute autre roche, car la matière alcaline et la chaux abondent dans sa composition, et servent comme de fondant à la grande quantité de silice qui, autrement, serait complétement réfractaire.

Nous devons maintenant nous occuper de cette catégorie des roches ignées dont les caractères sont fondés plutôt sur la forme que sur la composition.

Le *Porphyre* appartient à cette classe; il est très caractéristique des formations volcaniques. Lorsque des cristaux distincts d'un ou de plusieurs minéraux sont disséminés au sein d'une pâte terreuse ou compacte, la roche prend le nom de porphyre (fig. 622). Ainsi le trachyte peut être porphyritique; car, dans cette roche, tout comme dans un grand nombre de laves modernes, il existe des cristaux de feldspath.

(1) Docteur Daubeny, *On Volcanos*, 2e édit, pp. 14, 15.

Mais certains porphyres fournissent aussi des cristaux d'augite, d'olivine et d'autres minéraux. Si la pâte est du greenstone, du basalte ou du pitchstone (pierre de poix) (1), la roche peut recevoir le nom de *greenstone-porphyry* (greenstone-porphyre), *pitchstone-porphyry* (rétinite-porphyroïde), et ainsi de suite. L'ancien type classique de cette roche est le porphyre rouge d'Égypte, bien connu sous le nom de *Rosso antico* (Rouge antique). Il consiste, suivant M. Delesse, en une pâte feldspathique rouge dans laquelle sont disséminés des cristaux rouges de feldspath oligoclase, avec quelques particules de hornblende (Amphibole) noirâtre, et grains de fer sesqui-oxydé (fer oligiste). Le *Porphyre rouge quartzifère* est une roche beaucoup plus siliceuse, contenant environ 70 ou 80 pour 100 de silice, tandis que le porphyre d'Égypte n'en recèle que 62 pour 100 (2).

FIG. 632. — Porphyre.
Cristaux blancs de feldspath dans une pâte noire de hornblende et de feldspath.

Amygdaloïde. — C'est encore une forme de roche volcanique à composition très variable. Elle comprend toute masse rejetée par les volcans, dans laquelle sont répandus au travers d'une pâte de wacke, de basalte, de greenstone ou autres sortes de trapp, des nodules arrondis ou amygdalaires de minéraux divers, tels que calcédoine, agate, spath calcaire, zéolite. Son nom dérive du mot grec *amygdala*, amande. L'origine de sa structure n'est pas difficile à expliquer ; des roches analogues se forment dans les laves modernes. De petites cavités ou cellules préexistaient dans la matière en fusion, et servaient à loger des bulles de vapeur ou de gaz. Après ou pendant la consolidation de cette matière, les espaces

(1) Rétinite des géologues français. (*Note du traducteur.*)

(2) Delesse, *Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e série, t. VII, p. 484.

devenus vides ont été remplis graduellement par une substance qui s'est séparée de la masse ou qui s'est infiltrée par voie aqueuse. Comme les bulles se sont parfois allongées par la coulée de la lave avant son refroidissement, les contenus de leurs cavités ont la forme d'amandes. Dans certains trapps amygdaloïdes d'Écosse, dont les nodules sont décomposés, les cellules vides ont une enveloppe lustrée ou vitreuse, et sous ce rapport elles ressemblent tout à fait aux laves scoriacées des hauts fourneaux.

La figure ci-contre (623) représente un morceau détaché de la partie supérieure d'une coulée de lave basaltique en Auvergne. La moitié en est scoriacée, et les cellulosités en sont complétement vides; l'autre moitié est amygdalaire, et ses cavités sont totalement remplies de carbonate de chaux qui forme des noyaux blancs.

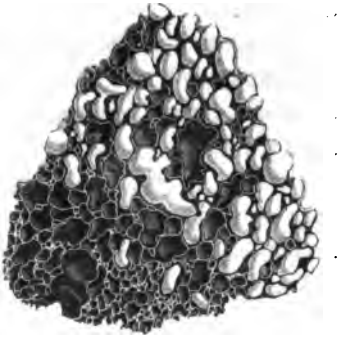


FIG. 623. — Lave scoriacée, en partie convertie en amygdaloïde.
Mont de la Veille, département du Puy-de-Dôme, France.

Lave. — Cette dénomination est un peu vague; on l'a appliquée à toute matière en fusion ayant coulé de soupiraux volcaniques. Lorsqu'une telle matière se refroidit à ciel ouvert, la partie supérieure devient ordinairement scoriacée, et la masse intérieure acquiert une structure de plus en plus compacte dans le sens de la profondeur, ou suivant qu'elle s'est consolidée plus lentement et sous une pression plus forte. Toutefois, à la partie inférieure d'un courant de lave, on rencontre très souvent un peu de roche scoriacée formée par la première et très mince nappe de matière liquide qui précède souvent la coulée principale, et arrive au contact de l'eau ou d'un sol humide.

Les laves les plus compactes sont souvent porphyritiques; les portions scoriacées elles-mêmes contiennent quelquefois

des cristaux imparfaits provenant de roches plus anciennes où ces cristaux préexistaient, et n'ont pas été fondus.

La matière en fusion qui s'élève dans un cratère, ou même celle qui vient à s'infiltrer dans quelque fissure des flancs du cône, prend le nom de lave; cependant cette expression appartient plus proprement à la pâte fluide qui a coulé à l'air libre ou sur le lit d'un lac ou d'une mer. Si cette même pâte n'a point atteint la surface du cratère, mais a pénétré simplement dans les crevasses intérieures, elle prend le nom de trapp.

Les laves présentent toute espèce de composition : quelques-unes sont trachytiques, celles du pic de Ténériffe, par exemple; grand nombre sont basaltiques, celles du Vésuve et de l'Auvergne; d'autres sont andésitiques, celles du Chili; quelques-unes enfin des plus modernes au Vésuve contiennent de l'augite vert, et plusieurs de l'Etna renferment ce dernier minéral et du labrador (1).

Les *Scories* et la *Ponce* sont à mentionner aussi comme roches poreuses produites par l'action de gaz sur des matières que la chaleur volcanique a fondues. Les *Scories* sont ordinairement d'une couleur brun-rougeâtre ou noire; c'est en quelque sorte une écume des laves basaltiques et augitiques. La *Ponce* est une substance légère, spongieuse et fibreuse, produite par l'action de gaz sur des laves trachytiques et autres; toutefois les rapports de son origine à sa composition ne sont pas encore parfaitement établis. De Buch prétend que jamais elle ne se rencontre sur les points où le feldspath Labrador est exclusif.

Tuff volcanique, tuff-trapp. — Les petits fragments angulaires de scorie et de ponce dont il a été question ci-dessus, ainsi que la poussière de ces mêmes roches, lancés par les explosions volcaniques, forment des tuffs ; ceux-ci abondent dans toutes les contrées à volcans actifs où de véritables sortes de pluies de ces matières, entremêlées de petits frag-

(1) G. Rose, *Ann. des min.*, t. VIII, p. 32.

ments d'autres roches arrachées du cratère, sont tombées sur la terre ou dans la mer. Les tuffs, alors, se trouvent souvent mêlés de coquilles, et sont stratifiés. Leur pâte est quelquefois liée par un ciment calcaire, ce qui produit une pierre susceptible d'un beau poli. Dans les cas même où il n'existe pas ou peu de chaux, les éléments qui composent les tuffs ordinaires montrent une grande tendance à s'unir entre eux. Outre la spécialité de composition, certains tuffs ou *volcanic grits* (grès grossiers volcaniques) comme on les a nommés, diffèrent des grès ordinaires par l'angularité de leurs grains, et souvent passent aux *brèches volcaniques*.

Au dire de M. Scrope, les géologues italiens limitent le mot *tuff*, ou *tufa*, aux mélanges feldspathiques, et principalement à ceux de ponce ; ils réservent le nom de *peperino* aux tuffs volcaniques (1). Les pépérinos ainsi compris sont ordinairement bruns, et les tuffs gris ou blancs.

On observe parfois des lits extrêmement compactes de substances volcaniques, stratifiés avec des roches fossilifères ; ce sont, dans quelques cas, des tuffs, bien que leur densité ou leur compacité soient telles, qu'ils ressemblent à plusieurs de ces différentes sortes de trapp que l'on rencontre dans les dykes ordinaires. La boue de couleur chocolat qui, durant des semaines, est sortie du cratère de l'île Graham, dans la Méditerranée, en 1831, a dû, sans mélange avec d'autres matières, produire une pierre plus pesante que le granite. On a observé que chaque centimètre cube de poussière impalpable tombée pendant des jours entiers de l'atmosphère, à l'époque d'éruptions modernes, pesait, sans compression, autant que les roches trappéennes ordinaires, et souvent était identique à celles-ci par la composition minérale.

Palagonite-tuff (Tuff-Palagonite). — La nature des tuffs volcaniques doit varier beaucoup suivant la composition minérale des cendres et des débris lancés de chaque évent volcanique, ou d'un seul évent à différents intervalles. Dans la

(1) *Geol. Trans.*, 2e série, t. II, p. 211.

description de l'Islande, nous lisons que les Tuffs-Palagonites sont très communs. Le nom de Palagonite fut donné pour la première fois par le professeur Bunsen à un minéral qui se rencontre dans les formations volcaniques de Palagonia, en Sicile. C'est plutôt une substance minérale qu'une véritable espèce, car elle est toujours amorphe, et n'a jamais été trouvée à l'état cristallisé. Sa composition varie, mais on peut la considérer comme un hydro-silicate d'alumine, contenant de l'oxyde de fer, de la chaux, de la magnésie et un peu d'alcali. Elle est de couleur brune ou brun-noirâtre, et sa pesanteur spécifique de 2,43. Elle entre pour une large proportion dans la composition des tuffs et brèches volcaniques, et Bunsen la considère comme une roche altérée, résultant de l'action de la vapeur d'eau sur les tuffs volcaniques.

Agglomérat. — Dans le voisinage des émanations volcaniques, on observe fréquemment des accumulations de fragments anguleux qui ont été produits, pendant les éruptions, par l'action explosive de la vapeur battant en brèche les formations pierreuses sous-jacentes, et les chassant dans l'atmosphère. Ces fragments tombent en pluie tout autour du cône ou cratère, et peuvent atteindre même jusqu'à une certaine distance sur la contrée environnante. Les fragments consistent habituellement en différentes variétés de laves scoriacées et compactes ; mais d'autres sortes de roches, telles que du granit, ou même des calcaires fossilifères, y sont mêlées ; en somme, on y observe toute substance à travers laquelle les gaz, dans leur expansion, ont pu se frayer un passage. Le vent a favorisé la dispersion de ces matières, par ses variations de direction ou d'intensité ; elles se sont sans doute aussi groupées selon la pente du cône le long duquel elles ont roulé, et suivant l'intensité des pluies qui accompagnent souvent les éruptions. Mais si le pouvoir de l'eau ou celui des vagues et des courants de la mer vont jusqu'à transporter des fragments à de grandes distances, ils ne manquent pas aussi d'émousser leurs angles (à moins que la glace n'intervienne), et dès lors la formation est un *conglomérat*. Si par-

fois des portions globulaires de scorie abondent dans un agglomérat, il ne faut donc point attribuer leur forme arrondie exclusivement à l'usure.

La grosseur des fragments angulaires, dans certains agglomérats, est énorme : elle va jusqu'à 2 et 3 mètres de diamètre. Les masses mesurent souvent 15 à 30 mètres d'épaisseur, sans montrer aucune trace de stratification. On pourrait restreindre le sens de ce mot *brèche volcanique*, en l'appliquant seulement aux sortes de tuffs composés de petits fragments anguleux.

La croûte écumeuse d'une coulée de lave se partage souvent, pendant que celle-ci est en mouvement, par fragments anguleux, dont quelques-uns, après la cessation du cours de la lave, font saillie de 1 à 2 mètres au-dessus de la surface. Une croûte ainsi brisée ressemble beaucoup pour sa structure aux agglomérats que nous avons décrits ci-dessus, bien que sa composition soit habituellement plus homogène.

La *Latérite* est une roche rouge, jaspée et ressemblant à de la brique; elle est composée de silicate d'alumine et d'oxyde de fer. Les petits lits rouges, nommés *lits d'ocre*, qui séparent entre elles les laves de la Chaussée des Géants, sont des latérites. M. Delesse a reconnu en eux des trapps imprégnés d'oxyde rouge de fer, partiellement réduits à l'état de kaolin. Par une décomposition plus avancée, ils deviennent de l'argile colorée d'ocre. Deux des laves du Giant's-Causeway sont séparées par un lit de lignite; il n'est donc pas improbable que les bandes de latérite que l'on voit dans les falaises d'Antrim aient été produites par décomposition atmosphérique. A Madère et aux îles Canaries, les courants de lave d'origine subaérienne sont souvent séparés par des bandes rouges de latérite, qui probablement ont été d'anciens sols formés par la décomposition de la surface des coulées. Plusieurs de ces sols primitifs sont devenus rouges dans l'atmosphère par l'oxyde de fer, et d'autres ont été convertis en rouge-brique au contact des laves fondues et brûlantes. Ces bandes rouges sont souvent prismatiques, et les petits prismes

sont perpendiculaires aux nappes de lave. L'argile rouge ou la marne de la même couleur, formées, comme nous l'avons dit plus haut, par la désagrégation de la lave, des scories ou du tuff, se sont souvent accumulées sur de grandes épaisseurs dans les vallées de Madère ; elles y furent apportées par l'action alluviale ; quelques-unes aussi des couches épaisses de latérite qui existent dans l'Inde peuvent bien avoir partagé une origine semblable. Toutefois, dans cette partie du globe, surtout dans le Deccan, le mot *latérite* paraît avoir été trop vaguement employé.

Il deviendrait oiseux d'énumérer toutes les sortes de trapp et de lave que divers observateurs ont considérées comme assez abondantes pour mériter des noms distincts, d'autant plus que chacun a pu exagérer l'importance des variétés dominantes dans les lieux qui lui étaient mieux connus. Il sera néanmoins utile de faire suivre ici, sous forme de glossaire, une liste alphabétique des noms et synonymes dont on fait le plus généralement usage, avec de courtes explications auxquelles j'ai ajouté un tableau d'analyses des minéraux simples les plus abondants au sein des roches volcaniques et hypogènes.

Explication des noms et synonymes, ainsi que de la composition minérale des Roches Volcaniques les plus abondantes.

AGGLOMÉRAT. Brèche grossière, composée de fragments de roches lancés des cratères volcaniques, angulaires pour la plupart, et sans aucun mélange de cailloux usés par l'eau. On peut donner le nom de *Conglomérats Volcaniques* aux mélanges où se rencontrent ces dernières sortes de pierres.

AMPHIBOLITE. Voyez Roche de Hornblende.

AMYGDALOÏDE. Forme particulière de roche volcanique.

APHANITE. Voyez Cornéenne.

ARGILOLITE (Claystone). Voyez ce mot.

ARGILOPHYRE (Claystone-porphyry). Voyez ce mot.

BASALTE. Mélange intime de feldspath et d'augite, avec fer magnétique, olivine, etc. (voy. p. 229, t. II).

BASANITE. Nom donné par Alex. Brongniart à une roche ayant pour base le basalte, avec cristaux plus ou moins nombreux et distincts d'augite qui s'y trouvent disséminés.

CLAYSTONE et CLAYSTONE-PORPHYRY (1). Pierre argileuse et compacte, ordinairement de couleur pourpre; ressemble à de l'argile endurcie; contient généralement des cristaux disséminés de feldspath, et parfois de quartz.

CLINKSTONE. Syn. *Phonolite*, *Pétrosilex fissile* (voy. t. II, p. 232). Roche d'un gris bleu et d'autres nuances, montrant une tendance à se diviser en grandes lames très dures; cassure nette; sonnant sous le choc du marteau; composée principalement de feldspath, et, suivant Gmelin, de feldspath et de mésotype (Leonhard, *Mineralreich*, p. 102).

CORNÉENNE ou APHANITE. Roche compacte et homogène, sans traces de cristallisation, à cassure unie comme certains basaltes compactes; elle se compose de hornblende, quartz et feldspath, intimement liés. Son nom dérive du mot latin *cornu*, corne, qui fait allusion à sa texture compacte.

DIORITE. Sorte de Greenstone, composée de feldspath et de hornblende en grains (saccharoïde); le feldspath peut être de l'oligoclase, du labrador ou de l'anorthite (2). D'après Rose (*Ann. des Mines*, t. VIII, p. 4), la *Diorite* renfermerait aussi de l'albite. Sa couleur noire est due à des lamelles disséminées de hornblende.

DOLÉRITE. Elle est, suivant Rose, composée d'augite noir et de feldspath Labrador; d'après Leonhard (*Mineralreich*, etc., p. 77), ses éléments constituants seraient de l'augite, du feldspath Labrador et du fer magnétique.

DÔMITE. Trachyte terreux qui existe au Puy-de-Dôme, Auvergne.

EUPHOTIDE. Mélange de particules cristallines de feldspath Labrador et de Diallage (Rose, *ibid.*, p. 19). Suivant certains auteurs, cette roche serait un mélange de diallage, hornblende et saussurite, minéral auquel on a quelquefois donné le nom de *jade* (Allan, *Mineralogy*, p. 158). Haidinger a, le premier, observé que dans cette roche le hornblende entoure les cristaux de diallage.

FELDSPATH COMPACTE, appelé aussi PÉTROSILEX. La roche ainsi nommée comprend le hornstone de certains auteurs; elle est voisine du Clinkstone, mais plus dure, plus compacte et translucide. C'est une roche variable, dont la composition chimique n'est pas bien définie (Mac-Culloch, *Classification des Roches*, p. 481).

(1) Argilolite et Argilophyre de la nomenclature française.
(*Note du traducteur.*)

(2) Delesse, *Ann. des Mines*, 1851, t. XVI, p. 323; *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XXIV.

GABBRO. Voyez Roche de Diallage.

GREENSTONE. Mélange de feldspath et de hornblende (voy. ci-dessus, t. II, p. 232).

GREYSTONE (Graustein de Werner). Roche d'un gris de plomb ou verdâtre, composée de feldspath et augite. Le feldspath s'y trouve en proportions qui dépassent 75 pour 100 (Scrope, *Journ. of Sciences*, n° 42, p. 221). Les laves de Greystone sont intermédiaires pour la composition entre les basaltes et les trachytes.

HORNSTONE-PORPHYRY. Variété de porphyre feldspathique à base de hornstone. Ce dernier minéral diffère du feldspath compacte, ordinaire, en ce qu'il est plus silicaté et plus difficilement fusible.

LATÉRITE. Roche rouge, jaspée, et ressemblant à de la brique, composée d'une roche trappéenne altérée et d'oxyde de fer, ou quelquefois consistant en argile colorée par de l'ocre rouge (voy. ci-dessus, t. II, p. 239).

LAVE VITREUSE. Voyez Pitchstone et Obsidienne.

MÉLAPHYRE. Variété de porphyre noir, composée de feldspath Labrador et d'une petite quantité d'augite. On avait d'abord attribué sa couleur noire à des cristaux microscopiques d'augite qu'on y découvre; mais M. Delesse a démontré que la pâte perd cette couleur par l'acide hydrochlorique, tandis que cet acide n'attaque pas les cristaux d'augite qui s'y trouvent isolés et généralement en très petit nombre (*Ann. des Mines*, 4e série, t. XII, p. 228). Le nom de la roche vient de μελας, *melas*, noir.

OBSIDIENNE. Lave vitreuse ressemblant à du verre fondu, très voisine du pitchstone (rétinite).

OPHIOLITE. Nom donné par Alex. Brongniart à la Serpentine.

OPHITE. Dénomination appliquée par Palassou à certaines roches trappéennes des Pyrénées, d'une composition très variable, et dans lesquelles on observe du Labrador et du hornblende, quelquefois de l'augite; couleur parfois grisâtre. Cette roche passe à la serpentine.

PALAGONITE-TUFF. Tuff volcanique altéré, renfermant la substance de ce nom (t. II, p. 237).

PEARLSTONE (Perlite). Roche volcanique ayant l'éclat de la perle, ordinairement à structure nodulaire; très rapprochée de l'obsidienne, mais moins vitreuse.

PÉPÉRINO. Sorte de tuff volcanique, composé de scorie basaltique (voy. t. II, p. 237).

PERLITE. Voyez, ci-dessus, Pearlstone.

PÉTROSILEX. Voyez Clinkstone et Feldspath compacte.

PHONOLITE. *Syn.*: Clinkstone.

PITCHSTONE (Rétinite des Français). Lave vitreuse, à éclat moins vif que l'obsidienne; d'un vert noirâtre; ressemblant à un verre, mais ayant un aspect résineux comme la poix; elle contient ordinairement du feldspath vitreux (Orthose), un peu de mica, du quartz et du horblende. Elle renferme de l'eau, et M. Delesse a constaté qu'on l'attaque fortement par les

alcalis (*Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e série, t. XI, p. 105). Dans l'île d'Arran, elle forme un dyke de 9 mètres d'épaisseur qui coupe un grès.

PONCE. Forme légère, spongieuse et fibreuse de trachyte (voy. t. II, p. 236).

PORPHYRE AUGITIQUE. Cristaux de feldspath Labrador et d'augite, sur un fond vert ou gris foncé (Rose, *Ann. des Mines*, t. VIII, p. 22, 1835).

PORPHYRE FELDSPATHIQUE. *Syn.*: Hornstone Porphyritique. Pâte de feldspath, avec cristaux du même minéral, et cristaux ou grains de quartz (voy. aussi Hornstone).

PORPHYRE PYROXÉNIQUE, même que Porphyre Augitique; Haüy a donné le nom de Pyroxène à l'augite (1).

RÉTINITE. Voyez Pitchstone.

ROCHE D'AUGITE. De la famille des basaltes; composée de feldspath et d'augite (voy. t. II, p. 230).

ROCHE DE DIALLAGE. *Syn.* de Euphotide, Gabbro. Composée de feldspath et de diallage.

ROCHE DE HORNBLENDE, ou AMPHIBOLITE. Cette roche, telle que l'a définie Leonhard, est entièrement composée de hornblende; mais, aussi pure de composition, elle est exceptionnelle et se montre seulement à l'état de veines. Toutes les roches dans lesquelles le hornblende domine, devenant alors les *roches amphiboliques* des auteurs français, peuvent recevoir la dénomination de Roche de Hornblende. Elles contiennent toujours plus ou moins de feldspath, et passent au basalte, ou au greenstone, ou bien à l'aphanite (voy. t. II, p. 231).

ROCHE D'HYPERSTHÈNE. Mélange de particules de feldspath Labrador et d'hypersthène (Rose, *Ann. des Mines*, t. VIII, p. 13); offrant la structure de la syénite ou du granit. Ce composé abonde dans les trapps de Skye. La roche est extrêmement tenace, grise ou noir-verdâtre. Quelques géologues la considèrent comme un greenstone dans lequel l'hypersthène remplace le hornblende. Cette opinion repose sur le fait suivant : on trouve ordinairement, dans la roche d'hypersthène, du hornblende enveloppant les cristaux de ce dernier minéral qui possède un éclat perlé ou perlé-métallique.

SCORIES. Variétés poreuses de lave, d'un rouge brun ou noir (voy. t. II, p. 236).

SERPENTINE. Roche verdâtre, contenant beaucoup de magnésie. Sa composition la rapproche étroitement du minéral nommé *Serpentine noble* (voy. Tableau des analyses, t. II, p. 245) qui la traverse sous forme de veines. Les minéraux que fournit le plus fréquemment la serpentine sont la diallage, le grenat, la chlorite, le fer oxydulé et le fer chromé. La diallage et le grenat sont plus riches en magnésie au sein de la serpentine

(1) L'Augite forme l'une des divisions de l'espèce Pyroxène adoptée par Haüy; le Diopside en est une autre division. (*Note du traducteur.*)

que dans les autres roches (Delesse, *Ann. des Mines*, 1851, t. XVIII, p. 309). On remarque, mais rarement, la serpentine en dykes coupant les couches contiguës; elle se rapporte indifféremment à la série trappéenne ou hypogène. Son absence des produits volcaniques récents indique qu'elle appartient véritablement au groupe des roches métamorphiques; et même, lorsqu'elle se trouve en dykes traversant les formations aqueuses, on dirait un basalte altéré, abondant en olivine.

TÉPHRINE. *Syn.* de Lave. Nom proposé par Alex. Brongniart.

TOADSTONE (1). Nom vulgaire, usité dans le Derbyshire pour indiquer une sorte de Wacke (voy. ce nom).

TRACHYTE. Composé principalement d'une pâte feldspathique, avec cristaux de feldspath vitreux.

TRAPP. Sorte de tuff ou boue rejetée par des cratères lacustres pendant les éruptions; commune dans l'Eifel, Allemagne.

TUFF. *Syn.* Tuff-trapp, Tuff volcanique (voy. t. II, p. 237).

TUFF-TRAPP. Voyez t. II, p. 236.

TUFF VOLCANIQUE. Voyez t. II, p. 236.

WACKE. Variété molle et terreuse de trapp, d'aspect argileux. Elle ressemble à de l'argile endurcie. La pointe d'acier y laisse des traces brillantes.

WHINSTONE. Nom usité dans certaines provinces en Écosse, pour désigner le greenstone et autres roches dures.

(1) Mot à mot *Pierre de crapaud;* nous n'avons pas d'expression française univoque qui désigne autrement cette roche. (*Note du traducteur.*)

ANALYSE DES MINÉRAUX QUI ABONDENT LE PLUS DANS LES ROCHES VOLCANIQUES ET HYPOGÈNES.

	Silice.	Alumine.	Magnésie.	Chaux.	Potasse.	Soude.	Oxyde de fer.	Manganèse.	RESTE.
Actinolite (Bergman)	64	.....	23	.....	.....	.....	3		
Augite noir des roches volcaniques (Klaproth)	48,00	5,00	8,75	24,00	.....	.....	10,00	1,00	
Carbonate de chaux (Biot)	.....	.....	.....	56,33	.....	.....	.....	.....	43,65 C.
Chiastolite (Landgrabe)	66,50	30,11	1,13	.....	.....	.....	.....	.....	0,27 E.
Chlorite (Kobell)	31,14	17,14	34,40	.....	.....	.....	3,85	0,53	12,20 E.
— (Delesse)	31,07	15,47	19,14	0,46	.....	.....	19,99	traces	14,55 E.
— du St-Gothard (Varrentrapp)	25,37	28,79	17,09	.....	.....	.....	28,79	.....	5,96 E.
Diallage de l'euphotide (Delesse)	49,30	5,50	17,61	15,43	.....	.....	9,43	0,51	0,85 E. 0,30 Ch.
— bronzite du Tyrol (Kohler)	56,81	2,07	29,68	2,20	.....	.....	8,46	0,02	0,22 E.
Epidote (Vauquelin)	37	21	.....	15	.....	.....	24	1,5	
Feldspath commun (Rose)	66,75	17,5	.....	1,25	12	.....	0,75		
— — (Delesse)	64,91	19,16	0,65	0,78	11,07	2,49	traces		
— Albite (Rose)	68,84	20,53	.....	traces	.....	9,12			
— — d'un porphyre d'Auzel-las-Haut, dans les Vosges (Delesse)	71,50	15,50	0,50	1,73	3,16	5,94	traces		2,06 E. et un peu de C.
— Andésine, d'une syénite des Vosges (Delesse)	58,91	24,59	0,40	4,01	2,53	7,59	0,99	.....	0,98 E.
— Labradorite (Klaproth)	55,75	26,5	.....	11	.....	4	1,25	.....	0,05 E.
— du vert antique (verde antico) (Delesse)	53,20	27,31	1,01	8,02	3,40	3,52	1,03	.....	2,51
— Oligoclase, de la protogine du Mont-Blanc (Delesse)	63,25	23,92	0,32	3,23	2,81	6,88	traces		
— Oligoclase d'Arendal (Scheerer)	62,87	22,91	traces	3,61	1,39	8,16	1,09		
Grenat (Klaproth)	35,75	27,25	.....	.....	.....	.....	36	0,25	
— (Phillips)	43	16	.....	20	.....	.....	16		
Hornblende (Klaproth)	42	12	2,25	11	traces	.....	30	0,25	
— (Bonsdorff)	45,09	12,18	18,79	13,85	.....	.....	7,32	0,22	1,5 F.
— de la diorite orbiculaire de Corse (Delesse)	47,88	8,23	18,40	7,05	0,14	0,65	16,15	traces	1,50 E., F., Ch.
Hypersthène (Klaproth)	54,25	2,25	14	1,5	.....	.....	24,5	traces	1 E.
Leucite (Klaproth)	53,75	24,62	.....	.....	21,35	.....			
Malacolite ou Sahlite, vert (Delesse)	53,42	1,38	14,95	21,7.	.....	.....	8,55		
Mésotype (Gehlen)	54,64	19,70	.....	1,61	.....	15,09	.....	.....	9,33 E.
— (Berzelius)	46,80	26,50	.....	9,87	.....	5,40	.....	.....	12,30 E.
Mica (Klaproth)	42,5	11,5	9	.....	10	.....	22	2	
— (Vauquelin)	50	35	.....	1,33	.....	.....	7		
— noir (H. Rose)	40,00	12,67	0,63	.....	5,61	.....	19,03 S.	15,70	1,63 T. 2,00 F.
— vert, de la protogine (Delesse)	44,22	13,92	4,70	2,56	6,05	1,40	21,31 S. 5,03 P.	1,09	1,53 F. 0,90 E.
— rouge, d'un calc. crist. (Delesse)	37,54	19,80	30,32	0,70	7,17	1,00	1,61	0,10	0,22 F. 1,51 perte. 3,59 L.
— rose d'un granite (C. Gmelin)	49,06	33,61	0,41	.....	4,19	.....	.....	1,40	3,28 F. 0,11 P. 4,18 perte.
— blanc de la pegmatite (Delesse)	66,23	33,03	2,10	.....	3,87	1,45	3,48 S.	traces	4,12
Olivine (Berzelius)	40,86	.....	47,35	.....	.....	.....	11,72	0,43	
— (Klaproth)	50	.....	38,5	0,25	.....	.....	12		
— des pierres météoriques (Klaproth)	41,00	.....	38,5	.....	.....	.....	18,5		
Serpentine (Hisinger)	43,07	0,25	40,37	0,5	.....	.....	1,17	.....	12,65 E.
— asbestiforme ou chrysotil (Delesse)	41,58	0,42	42,61	.....	.....	.....	1,09	.....	13,70 E.
— commune (Delesse)	40,53	0,92	37,98	1,50	.....	.....	7,39	traces	10,70 E.
Stéatite (Delesse)	64,35	.....	28,53	.....	.....	.....	1,40	.....	5,72 E.
— (Vauquelin)	64	.....	22	.....	.....	.....	3	.....	5 E.
Talc pur (Delesse)	61,75	.....	31,68	.....	.....	.....	1,70	.....	3,83 E.
— (Klaproth)	64,75	.....	30,5	.....	2,75	.....	2,5		
Tourmaline ou Schorl noir, d'un granit du Devon (Rammelsberg)	37,00	33,09	2,58	0,50	0,65	1,39	9,31 S. 6,19 P.	.....	0,12 P. 7,66 B. 2,09 perte. 1,49 F. 0,22 Ph.
— rouge, d'un granit de Moravie (Rammelsberg)	41,16	41,83	0,61	.....	2,17	1,37	.....	97 S.	3,56 B. 0,41 L. 2,70 F. 3,77 perte
Tourmaline (Gmelin)	35,48	34,75	4,08	.....	0,48	1,75	17,44	1,89	4,01 B.

Dans la dernière colonne, à droite, les abréviations indiquent : B., acide Boracique ; C., acide carbonique ; Ch., oxyde de chrôme ; E., eau ; F., acide fluorique ; L., lithine ; P., acide phosphorique ; T., oxyde de titane. Dans la septième colonne des nombres, P. signifie protoxyde, et S. veut dire sesquioxyde.

CHAPITRE XXIX.

ROCHES VOLCANIQUES (*suite*).

Dykes de trapp. — Quelques-uns font saillie. — D'autres ont laissé des vides par la décomposition. — Ramifications et veines de trapp. — Dykes plus cristallins à leur centre. — Couches altérées au contact ou dans le voisinage. — Disparition des débris organiques. — Conversion de la craie en marbre. — Trapp intercalé dans les couches. — Structures colonnaire et globulaire. — Rapports des roches trappéennes avec les produits des volcans actifs. — Forme, structure et origine des montagnes volcaniques. — Cratères et Calderas. — Iles Sandwich. — Lave coulant sous terre. — Cônes tronqués. — Calderas de Java. — Iles Canaries. — Origine et structure de la Caldera de Palma. — Roches plus anciennes et autres plus nouvelles, en couches discordantes, dans ce volcan. — Conglomérat aqueux à Palma. — Hypothèse d'un soulèvement. — Pentes sur lesquelles peuvent s'arrêter les laves pierreuses. — Étendue et nature de l'érosion produite par les eaux à Palma. — Ile de Saint-Paul dans l'Océan Indien. — Pic de Ténériffe, et ruines de son cône le plus ancien. — Madère. — Ses roches volcaniques en partie marines et en partie sub-aériennes. — Axe central d'éruption. — Plongements variables des laves solides près de l'axe, et à certaine distance de celui-ci. — Lit à feuilles et à plantes terrestres fossiles. — Vallées centrales de Madère, sans cratères ni calderas.

J'ai traité, dans le dernier chapitre, de la composition et des caractères des roches volcaniques; je vais décrire maintenant la position qu'elles occupent au travers de la croûte terrestre, ainsi que les formes extérieures qu'elles affectent. Les variétés principales de basalte, trachyte, greenstone et autres roches se trouvent parfois en dykes traversant les formations stratifiées ou non stratifiées. D'autres fois ce sont des masses informes qui pénètrent ces formations ou les recouvrent; ou bien, enfin, elles sont à l'état de feuillets horizontaux intercalés dans les couches.

Dykes volcaniques ou trappéens. — Nous avons déjà parlé des fentes que l'on observe dans toutes les espèces de roches, et dont certaines mesurent jusqu'à plusieurs mètres de lar-

geur; ces fentes sont remplies tantôt de terre ou de fragments à formes anguleuses, tantôt de sable et de cailloux. Supposons qu'au lieu de ces sortes de matières, une certaine quantité de substance fondue ait été injectée dans la fente béante, et

FIG. 624. — Dyke dans la vallée près de Brazen Head, Madère. (D'après un dessin du capitaine Basil Hall, de la Marine Royale.)

qu'elle s'y soit consolidée, nous aurons une masse tabulaire qui ressemblera à un mur, et que nous appellerons un dyke de trapp. Il n'est pas rare de rencontrer des dykes de ce genre traversant des couches peu consistantes, telles que tuff, scories, ou schiste argileux, qui souvent auront été emportées par la mer, les rivières ou la pluie; dans ces différents cas, les dykes se montreront en saillie contre un escarpement ou à la surface même de la contrée.

Dans les îles d'Arran et de Skye, ainsi qu'en d'autres parties de l'Écosse où le grès, le conglomérat et diverses roches dures sont traversées par des dykes de trapp, le phénomène inverse a lieu : le dyke s'est décomposé plus rapidement que la roche encaissante, il a disparu de la fissure, laissant à sa place une cavité qui s'étend souvent jusqu'à une

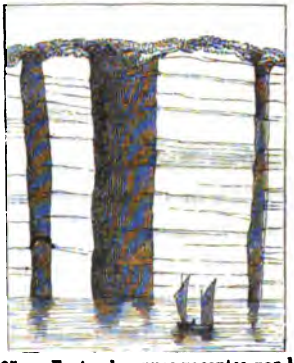


FIG. 625. — Fentes devenues vacantes par la décomposition du trapp. Strathaird, Skye (MacCulloch).

distance de plusieurs mètres de la côte, comme on le voit ci-contre (fig. 625). Dans ces cas, le greenstone du dyke est habituellement plus dur et plus résistant que le grès ; mais l'action chimique, et principalement l'oxydation du fer, ont produit une décomposition plus rapide.

Assez fréquemment dans l'île d'Arran et sur d'autres points en Écosse, les couches, à leur contact avec le dyke, et jusqu'à une certaine distance de celui-ci, ont été endurcies au point de résister aux injures de l'air plus que le dyke lui-même ou que les roches voisines. Lorsque pareil cas se présente, deux murs parallèles de couches endurcies font saillie au-dessus du niveau général de la contrée, et suivent la direction du dyke.

Comme les fentes envoient parfois des ramifications, ou bien se divisent en deux ou plusieurs fissures d'égal diamètre, on observe des dykes de trapp qui se bifurquent et se ramifient, quelquefois au point de mériter le nom de veines ; mais ce phénomène paraît plus habituel dans le granit que dans le trapp. L'esquisse ci-contre (fig. 626), due au crayon

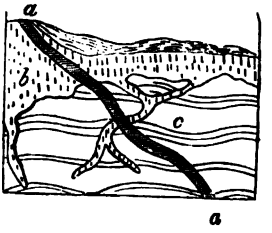


Fig. 626. — Veines de trapp ; Airdnamurchan.

du docteur Mac-Culloch, représente une portion de falaise au bord de la mer dans le comté d'Argyle ; la masse incombante de trapp *b* envoie quelques veines qui se terminent vers le bas de l'escarpement. Une autre veine de trapp *aa* coupe à la fois le calcaire *c* et le trapp *b*.

La figure 627 retrace le plan d'un dyke ramifié de greenstone qui traverse le grès sur la baie voisine de Kildonan Castle, dans l'île d'Arran. Le rameau le plus fort varie de

1 à 2 mètres d'épaisseur ; il donne l'échelle des dimensions pour les autres.

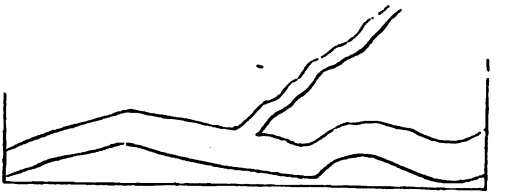


FIG. 627. — Plan d'un dyke de greenstone traversant le grès (Arran).

Aux Hébrides et en d'autres pays, les masses de trapp qui constituent une vaste surface du sol, et cachent les roches stratifiées sous-jacentes, reparaissent le long des falaises, et se prolongent en bas sous forme de veines ou de dykes qui, probablement, vont rejoindre d'autres masses de roches ignées à une profondeur plus considérable, comme nous l'avons figuré dans le diagramme ci-dessous. Ces dykes se voient sur la côte de Skye ; le plus gros n'a pas moins de 30 mètres d'épaisseur.

FIG. 628. — Trapp traversant et recouvrant le grès près de Suishnish, Skye. (Mac-Culloch.)

On rencontre parfois dans les dykes plusieurs variétés de roches trappéennes, telles que basalte, greenstone, porphyre feldspathique et trachyte. Les trapps amygdaloïdes s'y trouvent aussi, quoique plus rarement ; enfin, on y signale même des tuffs et des brèches ; les matériaux de cette dernière catégorie peuvent avoir été précipités dans des fissures béantes au fond de la mer, — ou bien, pendant des éruptions ayant eu lieu sur terre, elles seront retombées en pluie dans ces mêmes fissures.

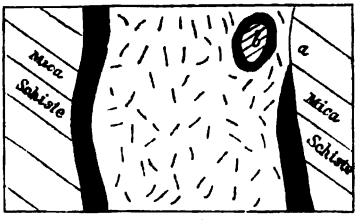
Certains dykes de trapp se continuent sans interruption sur des kilomètres entiers, en suivant une direction presque rectiligne : c'est ce qu'on observe dans le nord de l'Angleterre.

Dans ce cas, les fissures qui ont été remplies doivent avoir présenté une longueur extraordinaire.

Souvent le trapp, sur les bords ou contre les parois d'un dyke, est moins cristallin ou plus terreux que dans le centre : c'est que la matière fondue s'est figée plus rapidement au contact des parois froides de la fissure ; tandis que dans le centre, où la matière du dyke s'est conservée plus longtemps à un état de mollesse et de fluidité, la cristallisation a été lente. Cependant, j'ai observé un phénomène inverse aux environs de Santa-Cruz, à Ténériffe, sur un dyke qui coupe des lits horizontaux de scories dans la falaise près de Barranco de Bufadero. Ce dyke est vertical par sa direction générale, mais légèrement flexueux ; son épaisseur est d'environ $0^m,30$. Les côtés sont formés de basalte compacte ; mais, au centre, la roche est éminemment cellulaire sur une largeur de près de 10 centimètres. Dans cet exemple, la fissure a dû s'élargir après que la lave se fut consolidée de chaque côté, et la matière fondue, additionnelle, qui s'épancha dans l'espace moyen, se refroidit sans doute plus rapidement que celle des côtés.

Dans l'ancien cratère du Vésuve, appelé Somma, on observe une bande mince de lave semi-vitreuse bordant certains dykes. Il existe aussi parfois, à la jonction des dykes de greenstone au calcaire, une *Sahlband* ou lisière de serpentine. Sur la rive gauche du fiord de Christiania en Norwége, j'ai vu, avec M. Keilhau, un dyke fort remarquable de greenstone syénitique, traversant, dans toute sa longueur, des couches siluriennes jusqu'au promontoire de Nœsodden, où il pénètre au sein du micaschiste. La figure 629 représente en plan

Fig. 629. — Dyke de greenstone syénitique à Nœsodden, Christiania.



b. Fragments encluvés de schiste cristallin, entourés d'une enveloppe de greenstone.

certains points où le dyke se montre sur une largeur de huit pas. Vers le milieu, il est éminemment cristallin et granitoïde, d'une couleur pourpre, contenant quelques cristaux de mica, et contrastant fortement avec le micaschiste blanchâtre; entre celui-ci et la roche syénitique existe habituellement, de chaque côté, une bande noire, distincte, épaisse de $0^{m},45$, composée de greenstone. A première vue, ces bandes ressemblent à deux dykes concomitants; cependant elles ne sont en réalité que des variétés de forme revêtue par les matières syénitiques dans le voisinage ou au contact du micaschiste. Vers le point *a*, l'une des salbandes s'interrompt sur une certaine longueur; mais, tout près, et comme enclavé au milieu du dyke, se trouve un gros bloc détaché *b* qui présente la structure du gneiss, et se compose de hornblende et de feldspath. Autour de ce bloc, on voit une petite zone circulaire de basalte foncé ou de greenstone à grains fins, assez semblable aux bandes plus épaisses qui bordent le dyke; mais cette zone n'a guère plus de $0^{m},25^{mm}$ d'épaisseur.

Il paraît donc évident que le fragment *b* a exercé sur la matière du dyke, en accélérant sans doute le refroidissement, une action analogue à celle qu'ont produite, mais sur une plus grande échelle, les parois de la fissure. Cet exemple montre aussi avec quelle facilité une syénite granitoïde peut passer aux variétés ordinaires de la famille des roches volcaniques.

Le fait d'un fragment étranger *b* (fig. 629) enclavé au milieu du trapp, comme s'il provenait de quelque roche sous-jacente ou des parois d'une fissure, n'est point du tout rare. Un dyke de greenstone, d'une épaisseur de 3 mètres, situé dans les faubourgs nord de Christiania, en Norwége, en fournit une autre

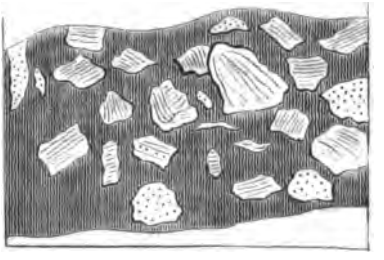


FIG. 630. — Dyke de greenstone, avec fragments de gneiss. Sorgenfrin, Christiania.

magnifique illustration (voy. le plan, figure ci-contre). Ce dyke traverse un schiste argileux que ses fossiles font rapporter à la série silurienne. Dans la pâte noire du greenstone, on remarque des portions anguleuses ou arrondies de gneiss, quelques-unes blanches, d'autres d'une légère couleur de chair, certaines non schistoïdes comme le granite, différentes, incrustées de lamelles qui, d'après leurs directions diverses et souvent opposées, ont évidemment été répandues au hasard à travers la gangue. Ces portions empâtées de gneiss mesurent de 2 à 20 centimètres environ de diamètre.

Roches altérées par les dykes volcaniques. — Après les remarques qui précèdent sur la forme et la composition des dykes, je dois décrire les altérations que ceux-ci produisent quelquefois sur les roches qui les touchent ou les avoisinent. Ces changements sont ordinairement ceux que l'on peut attendre de la chaleur intense d'une matière en fusion et des gaz qui s'y trouvent emprisonnés.

Plas-Newydd. — M. Henslow (1) a décrit un exemple frappant de ce genre de phénomène, qu'il a observé aux environs de Plas-Newydd, Anglesea. Le dyke a 40 mètres de large; c'est une roche composée de feldspath et d'augite (dolérite de certains auteurs). Les couches de schiste et de calcaire argileux qu'il traverse dans une direction perpendiculaire, sont altérées jusqu'à une distance de 9 mètres, et même, en quelques endroits, de 11 mètres au delà des bords du dyke. Le schiste, à mesure qu'il approche du trapp, devient de plus en plus compacte; il atteint son maximum d'endurcissement au point de jonction. Là il perd en partie sa structure schisteuse, mais on distingue encore ses divisions en petits lits parallèles. En plusieurs points, ce schiste est converti en jaspe porcelanique dur. Dans la portion la plus endurcie de la masse, les coquilles fossiles, principalement les *Productus*, sont presque détruits. Cependant on reconnaît encore

(1) *Cambridge Transactions*, vol. I, p. 402.

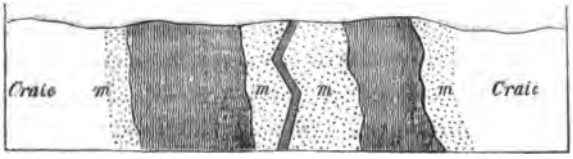
assez souvent leurs empreintes. Le calcaire argileux a subi des changements analogues : en approchant du dyke, il a perdu de plus en plus sa texture terreuse, et il a fini par devenir grenu et cristallin; mais le phénomène le plus curieux, c'est l'apparition, au sein du schiste, de nombreux cristaux d'analcime et de grenat, lesquels sont limités de la manière la plus exclusive aux portions de la roche sur laquelle le dyke a produit son action (1). Les cristaux de grenat contiennent jusqu'à 20 pour 100 de chaux; cette base provient de la décomposition des coquilles fossiles de productus. M. Sedgwick a rencontré le même minéral, dans des circonstances très analogues, à High-Teesdale, où le contenu était aussi un schiste et un calcaire altérés par le basalte (2).

Antrim. — En plusieurs localités du comté d'Antrim, nord de l'Irlande, on voit la craie à silex traversée par des dykes basaltiques. La craie est convertie en marbre grenu dans le voisinage du basalte; le changement s'étend quelquefois jusqu'à 2 ou 3 mètres de la paroi du dyke; c'est près du point de contact qu'il est le plus prononcé, et, en s'éloignant de ce point, il s'efface graduellement jusqu'à ce qu'enfin l'action cesse d'être sensible. Le produit le plus rapproché du dyke, dit le docteur Berger, est un calcaire cristallin brun foncé, dont les cristaux se clivent aussi larges que ceux du calcaire à grandes lames primitif (métamorphique); plus loin, la roche est saccharine, par conséquent à grains fins. On y observe aussi une variété compacte présentant l'aspect de la porcelaine, et d'une couleur gris bleuâtre; cette variété devient, vers sa limite externe, d'un blanc jaunâtre, et passe insensiblement à la craie non altérée. Les silex, dans la craie altérée, ont généralement acquis une couleur gris jaunâtre (3). Toute trace de débris organiques a disparu de la portion du calcaire la plus cristalline.

(1) *Cambridge Transactions*, vol. I, p. 410.
(2) *Ibid*, vol. II, p. 175.
(3) Dr Berger, *Geol. Trans.*, 1re série, vol. III, p. 172.

La figure suivante (631) représente trois dykes basaltiques traversant la craie sur une largeur seulement de 27 mètres. La craie, au contact de ces trois dykes, ou comprise entre

FIG. 631.



Dyke de 11 mètres. Dyke 30 centimètres. Dyke de 6 mètres. Dykes basaltiques dans la craie, en l'île de Rathlin, Antrim. Plan à découvert sur la plage. (Conybeare et Buckland (1).

eux, est convertie en marbre finement grenu, *mm*. Le contraste complet de composition et de couleur des roches d'intrusion rend, dans ces sortes de cas, les phénomènes excessivement clairs et intéressants.

Un autre dyke, dans le nord-est de l'Irlande, a converti une masse de grès rouge en cornstone (silex corné). Par l'action d'un troisième, un schiste du terrain houiller a pris, en durcissant, le caractère d'un schiste siliceux ; ailleurs, l'argile schisteuse du lias s'est transformée également en schiste siliceux, tout en conservant de nombreuses empreintes d'ammonites (1).

En présence de toutes ces métamorphoses, on devait s'attendre à rencontrer des couches de houille, substance essentiellement combustible, modifiées extraordinairement au contact de roches fondues. Effectivement, dans la même contrée, certain dyke de greenstone traversant une couche de houille, l'a réduite à l'état de cendre jusqu'à la distance de $2^{m},75$ de chaque côté.

A Cockfield-Fell, nord de l'Angleterre, des échantillons pris à une distance d'environ 27 mètres d'un trapp ne se distinguent pas de la houille ordinaire ; ceux que l'on re-

(1) *Geol. Trans.*, 1re série, vol. III, p. 213 ; et Playfair, *Illust. of Hutt. Theory*, s. 253.

cueille plus près du dyke sont en petits fragments comme du fraisil, et ont tout à fait le caractère du coke ; enfin, les échantillons pris au contact même du dyke sont convertis en une substance qui ressemble à de la suie (1). La roche de Stirling Castle est un grès calcaire fracturé et violemment déplacé par une masse de greenstone ; celle-ci, évidemment, était à l'état fondu lorsqu'elle envahit les couches. Le grès a été endurci ; il a pris au point de jonction une texture approchant de celle du silex corné. A Salisbury Craig et Arthur's Seat, près d'Édimbourg, un grès qui touche au greenstone se trouve changé en roche jaspoïde.

Les grès secondaires de Skye sont transformés en quartz solide sur plusieurs points où ils rencontrent des veines ou des masses de trapp ; un lit de quartz, dit le docteur Mac-Culloch, observé près d'une masse de trapp, au milieu de couches houillères, dans le comté de Fife, fut jadis, suivant toute probabilité, un grès ordinaire, postérieurement endurci et converti en quartzite par l'action de la chaleur (2).

Cependant, bien que dans un très grand nombre de cas les couches qui avoisinent les dykes soient ainsi altérées, que le schiste argileux ait été métamorphosé en schiste siliceux ou en jaspe, le calcaire en marbre cristallin, le grès en quartz, la houille en coke, et les débris fossiles totalement ou partiellement détruits ou déformés, il n'est pas du tout rare de rencontrer les mêmes roches, dans les mêmes districts, absolument intactes au voisinage des dykes volcaniques.

Cette grande inégalité entre les effets produits par les roches ignées provient souvent d'une différence qui a existé dans leur température et celle des gaz qu'elles contenaient ; la température est plus intense en certaines laves que dans d'autres, et pour la même lave elle se modifie à mesure que le courant s'éloigne de son point de départ. La

(1) Sedgwick, *Camb. Trans.*, vol. II, p. 37.
(2) *Syst. of Geol.*, vol. I, p. 206.

conductibilité pour la chaleur a pu varier aussi dans les roches envahies, suivant leur composition, leur structure, les dislocations qu'elles ont subies, et peut-être encore selon la quantité d'eau (ainsi susceptible d'être échauffée) qu'elles recélaient. Dans certains cas, les éléments de ces roches ont dû se trouver associés en proportions voulues pour passer rapidement à l'état de combinaison chimique et former de nouveaux minéraux; au contraire, dans d'autres cas, la masse a été plus homogène, ou les proportions des éléments moins aptes à subir l'association définie.

Il faut aussi tenir compte de cette circonstance, qu'une fissure, tantôt se remplit d'une lave qui commence immédiatement à se refroidir, et tantôt donne passage à un courant de matière fondue qui peut monter pendant des jours et des mois pour alimenter des coulées ou pour s'échapper sous la forme de scories de l'intérieur du cratère. De plus, si les parois d'une crevasse sont chauffées par la vapeur chaude avant que la lave s'élève, comme nous savons que cela arrive de nos jours dans certains volcans, le calorique additionnel fourni par le dyke et ses gaz agira avec bien plus d'énergie.

Injections de trapp entre les couches. — Au Whin-Sill, on voit une masse de basalte de 18 à 24 mètres de haut, re-

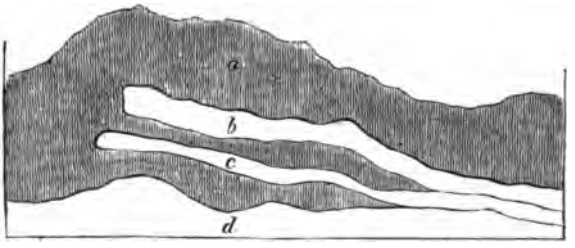


FIG. 632. — Trapp intercalé dans des couches disloquées de calcaire et de schiste, à Withe Force, High-Teesdale, Durham (Sedgwick) (1).

présentée en *a* (fig. 632), engagée sous forme de coins entre des roches de calcaire *b* et de schiste *c*, lesquelles ont été

(1) *Camb. Trans*, vol. II, p. 180.

séparées du calcaire et du schiste *d* en position normale auxquels elles étaient primitivement unies. En cet endroit, le schiste est endurci ; le calcaire qui, à distance du trapp, est de couleur bleue et contient des coraux fossiles, se trouve au contraire, au voisinage immédiat, converti en marbre grenu et dépourvu de fossiles.

Il n'est pas rare que des masses de trapp soient intercalées dans les couches, et conservent sur de larges étendues un parallélisme exact avec les plans de stratification. Ces masses ont dû, sur quelques points, se frayer un passage entre les divisions des lits ; suivant cette direction, le fluide en progression rencontrait une résistance moins considérable, surtout lorsqu'aucune fissure ne communiquait avec la surface, et que la plus puissante pression s'exerçait au moyen des gaz chassant la lave.

Structure colonnaire et globulaire. — L'une des formes les plus caractéristiques des roches volcaniques, et spécialement des basaltes, est celle de colonnes. On l'observe lorsque de grosses masses se sont divisées en prismes réguliers qui, tantôt se séparent facilement les uns des autres, tantôt restent fortement adhérents. Le nombre des côtés, dans ces prismes, varie de trois à douze ; on en compte généralement de cinq à sept. Souvent il existe à intervalles presque égaux des séparations transversales qui rappellent les articulations d'une colonne vertébrale. On voit un cas de ce genre à la Chaussée des Géants (Irlande). La longueur et le diamètre des prismes varient aussi extrêmement. Le docteur Mac-Culloch en cite dans l'île de Skye qui mesurent environ 120 mètres de long ; d'autres, dans le Morven, ne dépassent pas $0^m,025$. Quant à leur diamètre, il atteint, à Ailsa, $2^m,75$, à Morven, $0^m,025$ ou moins encore (1). Ils sont ordinairement droits ; quelques-uns cependant sont courbes. On signale des exemples des uns et des autres dans l'île de Staffa. Au travers d'un lit horizontal ou nappe de trapp, les colonnes sont verti-

(1) Mac Culloch, *Syst. of Geol.*, vol. II, p. 137.

cales ; dans un dyke vertical, elles sont horizontales. Comme exemple de ce dernier cas, je mentionnerai la masse de basalte appelée Chimney (cheminée) à Sainte-Hélène (fig. 633) :

Fig. 633. — Dyke volcanique composé de prismes horizontaux. Sainte-Hélène.

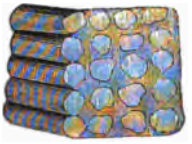


Fig. 634. — Petite portion du dyke représenté figure 633.

c'est une pile de prismes hexagonaux, de 19 mètres de hauteur, qui, évidemment, indique le reste d'un dyke étroit jadis encaissé par des parois rocheuses plus tard démantelées et tombées à la mer. Dans la figure 634, j'ai représenté sur une échelle moins réduite une petite portion de ce dyke (1).

Comme il est constaté que le trapp colonnaire a d'abord été à l'état fluide, on conçoit que les prismes soient toujours dirigés perpendiculairement aux *surfaces de refroidissement*. Par conséquent, si les surfaces sont courbes, les colonnes, au lieu d'être perpendiculaires ou horizontales, devront incliner sous toute espèce d'angle. On peut admirer un magnifique exemple de ce phénomène dans une vallée du Vivarais. Vers le milieu d'une région de gneiss, le géologue rencontre à l'improviste plusieurs cônes volcaniques de sable meuble et de scories. Du cratère de l'un de ces cônes, appelé la Coupe d'Ayzac, un courant de lave est descendu vers le fond d'une vallée étroite. Ce courant ne s'interrompt qu'aux points où la rivière Volant et les torrents

(1) Seale, *Geognosy of St. Helena*, pl. 9.

qu'elle reçoit ont coupé et enlevé des portions de la lave solide. L'esquisse suivante (fig. 635) retrace ce qui reste de cette lave sur l'un des points où le torrent latéral rejoint la

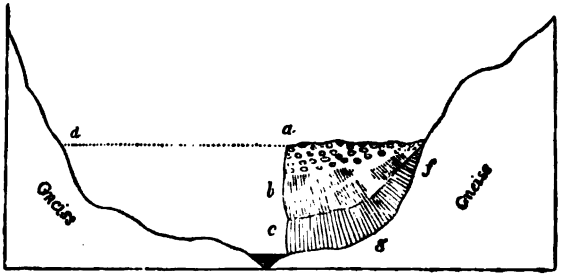


FIG. 635. — Lave de la Coupe d'Aysac, près Antraigue, département de l'Ardèche.

vallée principale du Volant. Il est évident que la coulée a rempli jadis la vallée entière jusqu'au niveau que j'ai marqué par une ligne ponctuée *d*, *a*; mais la rivière a graduellement tout entraîné au-dessous de cette ligne, et le torrent tributaire a, de son côté, ouvert une large brèche dans le sens transversal. La coupe nous montre en premier lieu qu'ici, comme dans le reste de la contrée, la lave se compose de trois parties : une supérieure, *a*, scoriacée ; une moyenne, *b*, formée de prismes irréguliers, et une inférieure, *c*, à colonnes régulières, verticales et s'élevant en surplomb sur la rive du Volant où elles ont pour support une base horizontale de gneiss ; elles sont inclinées sous un angle de 45° en *g*, et horizontales en *f*. Leur direction, sur tous ces points, a été déterminée d'après la loi que nous avons établie, c'est-à-dire par la forme concave de la vallée originelle.

La figure suivante (636) représente plusieurs de ces colonnes courbes et inclinées que l'on observe sur les versants des vallées dans la région montagneuse du nord de Vicence (Italie), et vers le pied des montagnes plus élevées des Alpes (1). Différents de ceux du Vivarais, les basaltes du Vicentin sont évidemment sortis du fond de la mer, et

(1) Fortis, *Mémoire sur l'Histoire naturelle de l'Italie*, t. I, p. 233, pl. 7.

les vallées actuelles ont été, depuis, creusées par la dénudation.

La structure colonnaire n'appartient point du tout exclusivement à celles des roches trappéennes où l'argile domine : elle est commune au phonolite, au trachyte et à d'autres roches feldspathiques de nature ignée. Dans ces dernières, toutefois, elle fournit rarement des formes polygonales aussi régulières.

FIG. 636. — Basalte colonnaire du Vicentin. (Fortis.)

Nous avons déjà dit que les colonnes basaltiques se divisaient souvent par joints transversaux. Quelquefois les segments, au lieu de se montrer angulaires, présentent une forme sphéroïdale, et, dans leur superposition en série pour constituer les piliers, ils sont ordinairement surbaissés. On observe un cas de ce genre à la *Grotte des Fromages* (Bertrich-Baden), dans l'Eifel, non loin de la Moselle (fig. 637).

FIG. 637. — Piliers basaltiques du Käsegrotte, Bertrich-Baden, à moitié chemin entre Trèves et Coblentz. Hauteur de la grotte : 2 mètres à 2m,45.

En cet endroit, le basalte fait partie d'une petite coulée de lave qui peut avoir 9 à 12 mètres d'épaisseur, et qui est sortie de l'un des nombreux cratères encore debout sur les hauteurs environnantes. On pourrait figurer la position de la

lave, sur les bords de la rivière, dans cette vallée, par une coupe semblable à celle que nous avons déjà donnée (fig. 635); seulement il faudrait substituer au gneiss les couches inclinées de schiste et de grès schisteux appelés grauwackes.

Dans certaines masses de greenstone, de basalte et d'autres roches trappéennes en décomposition, la structure globulaire est tellement accentuée, que la roche a l'apparence de gros boulets de canon. Suivant M. Delesse, le milieu de chaque sphéroïde aurait été un centre de cristallisation autour duquel les divers éléments de la roche se seraient disposés symétriquement pendant le refroidissement; et en même temps, dit cet auteur, ce milieu eût constitué un centre de contraction. La forme globulaire des sphéroïdes serait donc le résultat combiné de la cristallisation et de la contraction (1).

Un spécimen remarquable de ce genre de structure est fourni par un trachyte résineux, ou rétinite porphyroïde de l'une des îles Ponce situées dans la Méditerranée, entre Terracine et Gaëte. Les boules varient de quelques millimètres à près d'un mètre de diamètre, et sont de forme ellipsoïdale (fig. 638). La roche en entier est à l'état de décomposition, « et lorsque ces boules, dit M. Scrope, sont restées exposées pendant quelque temps aux injures de l'air, elles se séparent, au simple toucher, en nombreuses calottes concentriques semblables à celles d'une racine bulbeuse, avec noyau compacte à l'intérieur. Les lames courbes de ce noyau ne sont pas très

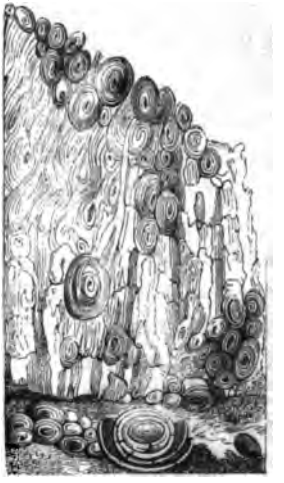


FIG. 638. — Rétinite globiforme. Chiaja di Luna, île Ponza. (Scrope.)

(1) Delesse, *Sur les Roches Globuleuses* (*Mémoires de la Société géologique de France*, 2e série, t. IV).

avancées en décomposition ; mais, au choc violent du marteau, elles s'exfolient facilement (1). »

Le phonolite et autres roches trappéennes peuvent aussi acquérir une texture fissile ; cette propriété a permis de les employer à couvrir les toits. Une même masse présente dans certains cas à la fois la structure prismatique et la structure schisteuse. Les causes qui ont dû produire cette disposition sont encore complétement ignorées ; mais on suppose qu'elles se lient aux changements de température survenus pendant le refroidissement.

RAPPORTS DES ROCHES TRAPPÉENNES AVEC LES PRODUITS DES VOLCANS ACTIFS.

Lorsqu'on réfléchit sur les modifications qu'éprouvent les couches près de leur contact avec les dykes trappéens, quand on songe à la complète analogie et souvent à l'identité de composition et de structure des roches appelées trappéennes et des laves vomies par les volcans actuellement en activité, on comprend difficilement qu'on ait pu se demander gravement, pendant plus d'un demi-siècle, si les trapps étaient d'origine ignée ou aqueuse. Jusqu'à un certain point, on admettait une différence réelle entre les formations trappéennes et celles plus spécialement désignées sous le nom de volcaniques. Une grande partie des roches trappéennes, que l'on avait étudiées d'abord dans le nord de l'Allemagne et en Norwège, en France et en Écosse, etc., semblaient avoir été formées entièrement sous l'eau ou injectées dans les fissures et entre les couches ; rien n'annonçait qu'elles eussent jamais coulé à l'air ou sur le fond d'une mer peu profonde. Par conséquent, lorsque l'on comparait ces produits d'actions ignées sous-marines ou souterraines aux cônes inconsistants de scories friables, de tuff et de lave, ou bien aux coulées étroites, la plupart scoriacées et po-

(1) Scrope, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. II, p. 205.

reuses, qu'on observe au Vésuve et à l'Etna, la ressemblance ne laissait pas que de paraître éloignée et équivoque. C'était en réalité comme si l'on eût comparé les racines d'un arbre à ses feuilles et à ses branches; tous ces organes, bien que faisant partie d'une même plante, diffèrent cependant de forme, de texture, de couleur, de mode d'accroissement et de position. Un cône extérieur accompagné de ses cendres meubles et de sa lave poreuse est comparable au feuillage léger et aux branches; les roches cachées au-dessous le sont aux racines. Mais il ne suffit pas de dire du volcan;

« .....Quantum vertice in auras
Æthorias, tantum radice in Tartara tendit. »

(Autant le sommet s'élève vers la région éthérée, autant la base descend dans les profondeurs du Tartare.)

Car la *racine*, ou base du cône, descend littéralement jusqu'au Tartare, c'est-à-dire aux régions du feu souterrain; et la portion cachée dans les profondeurs de l'abîme est probablement toujours plus importante par le volume et l'extension que celle exposée aux yeux sur le sol.

On a vu, dans le chapitre VI, avec quelle fréquence des masses épaisses de couches avaient été enlevées par la dénudation sur d'immenses surfaces; ce fait peut nous expliquer la disparition de toute partie proéminente de l'enveloppe extérieure d'anciens volcans sous-marins ou sub-aériens, d'autant plus que les matières qui forment cette enveloppe

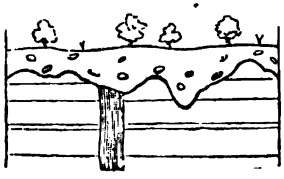


FIG. 639. — Couches traversées par un dyke de trapp, et recouvertes d'alluvium.

sont toujours les plus légères et les plus destructibles. La forme abrupte sous laquelle les dykes de trapp se terminent

d'ordinaire à l'extérieur (fig. 639), et les cailloux de trapp usés par les eaux qui existent dans l'alluvium recouvrant le dyke, prouvent de la manière la plus incontestable l'ablation complète de la croûte superficielle de ces formations.

Nous verrons, dans les chapitres suivants, qu'il existe des tuffs volcaniques de tous les âges, et que ces tuffs contiennent des coquilles marines témoignant d'éruptions survenues à plusieurs époques géologiques successives. Ces sortes de roches, ainsi que les trapps qui leur sont associés, ne sauraient être comparées à la lave ni aux scories qui se sont refroidies à l'air ; il faut chercher leurs analogues parmi les produits des éruptions volcaniques sous-marines actuelles. Si l'on objecte qu'il n'est pas possible d'étudier ces dernières, nous répondrons que, dans presque toutes les régions à volcans actifs, les mouvements souterrains ont déterminé de grands changements dans le niveau relatif des terres et des mers, et que ces changements, survenus à des époques comparativement récentes, ont mis au jour les effets des opérations volcaniques qui ont eu lieu sur le fond de l'Océan.

Par exemple, l'examen des roches ignées de Sicile, spécialement de celles du Val di Noto, a prouvé que les variétés les plus ordinaires de trapp d'Europe avaient été produites sous les eaux de la mer à une époque moderne, c'est-à-dire à partir du moment où la Méditerranée fut habitée par le plus grand nombre des espèces actuelles de testacés.

Ces roches ignées du Val di Noto, ainsi que les masses trappéennes plus anciennes d'Écosse et d'autres pays, diffèrent des formations volcaniques sub-aériennes en ce qu'elles sont plus compactes et plus pesantes, et aussi parce qu'elles forment quelquefois des coulées étendues de matières intercalées dans les couches marines, ou bien des conglomérats stratifiés dont les galets arrondis sont tous du trapp ; enfin, elles sont caractérisées par l'absence de cônes et de cratères réguliers, ainsi que par le défaut de conformité avec la lave aux niveaux les plus bas des vallées existantes.

Il est très probable cependant que des cônes en forme

d'îles existèrent jadis sur quelques points du Val di Noto, et qu'ils furent enlevés par les flots, tout comme le cône de l'île Graham, dans la Méditerranée, et celui de Nyöe, sur la côte d'Islande, lesquels disparurent, le premier en 1831, et le second en 1783 (1). Tout ce qui pourrait rester dans ces circonstances, après que le lit de la mer se serait élevé et converti en continent, se réduirait à des dykes et masses informes de roches ignées faisant saillie à travers des nappes de laves étendues sur l'ancien fond marin, ou à des couches de tuff formées de matériaux d'abord détachés puis entraînés au loin par les vents et les vagues, et finalement déposés. On verrait aussi des conglomérats avec cailloux roulés de trapp, que l'action des vagues aurait accumulés pendant la dénudation de ces îles volcaniques. La proportion de matières ignées qui s'est déposée primitivement sous la mer a toujours été considérable, car ceux des soupiraux des volcans qui n'existent pas sous l'élément aqueux sont la plupart insulaires, ou, s'ils sont placés sur le continent, c'est presque toujours près de la côte.

Quant à l'absence de vides dans les formations trappéennes, les apparences sont souvent fort trompeuses, car tous les amygdaloïdes, comme nous l'avons démontré, sont des roches poreuses dans les cellules desquelles une matière minérale (silice, carbonate de chaux ou autres) a pénétré ultérieurement (voy. t. II, p. 234), quelquefois peut-être par sécrétion pendant le refroidissement et la consolidation de la lave.

Dans la Little Cumbray, l'une des îles Western, près d'Arran, l'amygdaloïde contient accidentellement des cavités allongées remplies de spath brun; et, lorsque les nodules en ont été enlevés, on voit les parois des cavités tapissées du vernis vitreux si caractéristique des pores d'une lave schistoïde. Dans certaines parties de la roche, soustraites à l'action

(1) Voyez *Principes de Géologie*, Index : ILE GRAHAM, NYÖE, CONGLOMÉRATS VOLCANIQUES, etc.

de l'air et de l'eau, les cellules sont vides et semblent avoir toujours été en cet état. On ne saurait par conséquent distinguer ces amygdaloïdes de certaines laves modernes (1).

Le docteur Mac Culloch observe avec raison : « C'est discuter simplement sur des mots que de refuser aux anciennes éruptions de trapp le nom de volcans sous-marins ; car il y a similitude entre les deux phénomènes, du moins sur tous les points essentiels, bien que les trapps ne rejettent plus aujourd'hui ni flamme ni fumée (2). » Suivant le même auteur, « il ne serait pas improbable que quelques-unes des roches volcaniques de ces pays eussent été vomies à l'air (3). »

Bien que les principaux éléments minéralogiques des laves sub-aériennes soient identiques avec ceux des trapps d'intrusion, et que la structure colonnaire et globulaire appartienne en commun aux deux sortes de roches, certains produits volcaniques ne se rencontrent jamais dans les couches de lave : tels sont le greenstone, le porphyre plus cristallin, et ces trapps dans lesquels le quartz et le mica figurent au nombre des éléments constituants. En un mot, les roches trappéennes d'intrusion, qui forment le passage entre les laves et les roches plutoniques, s'éloignent d'autant plus par leurs caractères de la lave qu'ils se rapprochent davantage du granit.

FORME EXTÉRIEURE, STRUCTURE ET ORIGINE DES MONTAGNES VOLCANIQUES.

J'ai déjà parlé, dans le dernier chapitre (t. II, p. 222), de l'origine des cônes volcaniques à sommets cratériformes. J'ai traité aussi, plus à fond, de ce sujet, dans les *Principes de Géologie* (chap. XXIV à XXVI) où sont décrits le Vésuve, l'Etna, Santorin et Barren. La formation de ces montagnes ou îles est de beaucoup antérieure à l'ère historique. Leurs portions

(1) Mac Culloch, *West. Islands*, vol. II, p. 487.
(2) *Syst. of Geol.*, vol. II, p. 111.
(3) *Ibid.*, *ibid.*

les plus anciennes montrent les mêmes traits extérieurs et la même structure que la plupart des volcans éteints d'époques encore plus reculées. Or, ces derniers sont évidemment dus à une série complexe d'opérations qui ont différé avec les circonstances, suivant que l'accumulation s'est opérée au-dessus ou au-dessous du niveau de la mer, que la lave s'est échappée d'une ou de plusieurs issues contiguës, et enfin que les roches soumises à la fusion, dans les régions souterraines, ont contenu plus ou moins de silice, de potasse, de soude, de chaux, de fer et d'autres éléments.

Nous connaissons mieux les effets des éruptions survenues au-dessus des eaux, c'est-à-dire de celles appelées sub-aériennes et sus-marines. Cependant les produits même de ces dernières sont agencés avec tant de complication, qu'on a émis à leur égard quantité d'opinions contradictoires.

Cratères et Calderas. — Iles Sandwich. — Dans la partie géologique du Voyage d'Exploration entrepris sous les auspices des États-Unis, M. Dana nous apprend que deux des principaux volcans des îles Sandwich, les monts Loa et Kea, en Owyhee, sont de vastes cônes tronqués, de plus de 4000 mètres de haut (fig. 640), égalant chacun deux fois et demie l'Etna par leurs dimensions.

Des sommets de ces monts, et par des ouvertures situées non loin de leur extrémité supérieure, ont coulé successi-

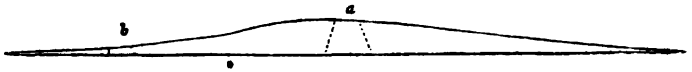


FIG. 640. — Mont Loa, îles Sandwich (Dana).

a. Cratère du sommet. — *b*. Cratère latéral de Kilauea,

Les lignes ponctuées indiquent une colonne supposée de roche solide laissée par la lave qui s'est consolidée après les éruptions.

vement des courants de lave, larges souvent de 3 kilomètres ou plus, et quelquefois longs de 42 kilomètres. Ces courants, sortis l'un après l'autre, quelques-uns à des époques modernes, ont suivi toutes les directions, et parcouru des pentes

inclinées de 4 à 8 degrés, mais, en quelques endroits, beaucoup plus abruptes. Parfois, des crevasses profondes, ouvertes sur les flancs de ces montagnes coniques, ont été remplies par des coulées de lave qui passaient à la surface, et la matière liquide, en se consolidant, a formé des *dykes*.

Le cratère latéral de Kilauea, *b* (fig. 640), s'élève à 1,210 mètres au-dessus du niveau de la mer ; il a donc environ la même hauteur que le Vésuve. Il présente à son milieu une immense dépression de 300 mètres de profondeur, dont le bord ne mesure pas moins de 3 à 5 kilomètres de diamètre. On voit ordinairement la lave bouillir au fond, dans une sorte de lac dont le niveau change continuellement, le liquide s'élevant et s'abaissant de plusieurs centaines de décimètres, suivant l'état d'activité ou de repos du volcan. Mais, au lieu de déborder par-dessus le cratère, comme cela arrive d'ordinaire dans les soupiraux volcaniques, la colonne de roche fondue, dès que la pression est arrivée à son paroxysme, se fraie un passage à travers quelque galerie souterraine ou fente conduisant à la mer. M. Coan, missionnaire américain, a décrit une éruption qu'il observa en juin 1840, au moment où la lave, qui s'était élevée très haut dans le gouffre, commençait à couler. Sa direction fut annoncée d'abord par l'apparition d'une lumière vive partant du fond d'un ancien cratère appelé Arare. Ce cratère, actuellement recouvert d'une forêt, est profond de 120 mètres ; il est situé à 9 kilomètres est de Kilauea. En même temps se manifesta un changement considérable dans le niveau de la lave à Kilauea : celle-ci baissa pendant trois semaines, jusqu'à ce que l'éruption eut cessé, et alors le lac était descendu à 120 mètres au-dessous du niveau qu'il occupait auparavant. Le passage de la matière fluide, de Kilauea à Arare, eut donc lieu sous terre, et M. Coan suppose que ce fut à plus de 300 mètres au-dessous de la surface. La seconde indication de la marche souterraine de la même lave se montra à 2 ou 3 kilomètres d'Arare : la coulée de feu fit

éruption, et vint se répandre extérieurement sur une surface de plusieurs hectares ; elle reprit ensuite sa route sous le sol, s'avança sur des kilomètres entiers dans la direction de la mer, et reparut une troisième fois au fond d'un autre ancien cratère également recouvert d'arbres, qu'elle remplit en partie. Le courant disparut encore sur une certaine distance, puis il se fraya une nouvelle issue, et celle-ci la dernière, à 43 kilomètres de Kilauea, sur un point que le capitaine Wilkes assure être à 380 mètres au-dessus du niveau de la mer. De là, le courant suivit une longueur de 19 kilomètres à ciel ouvert, puis il se précipita d'une falaise de 15 mètres de haut, et coula ensuite pendant trois semaines à la mer. Il avait parcouru 60 kilomètres depuis Kilauea. La croûte du sol, sur toute la route suivie par la lave souterraine, était traversée d'innombrables fissures rejetant de la vapeur, et, en quelques points, la roche sous-jacente était soulevée de 6 à 9 mètres.

Ainsi, ce seul volcan fournit à la fois l'exemple d'une lave coulant du sommet d'un cratère très élevé, et d'une matière fondue progressant sous terre. Quant à celle-ci, a-t-elle formé des nappes entre les produits stratifiés des précédentes éruptions, ou bien les a-t-elle pénétrés par des fentes obliques ou verticales ? On ne saurait répondre à cette question. Sur un point en particulier, et sur une certaine étendue, on dit qu'elle s'est dirigée latéralement, soulevant le sol sur son passage.

La coupe suivante du cratère de Kilauea est tracée suivant

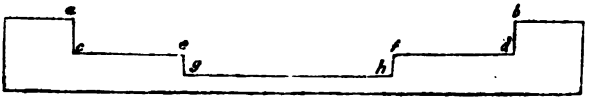


FIG. 641. — Coupe du cratère de Kilauea, îles Sandwich (Dana).

a, *b*. Bords extérieurs de la dépression suivant son plus court diamètre. — *ce/d*, Black-ledge. — *gh*, lac de lave.

le plus court diamètre, *ab*, qui mesure environ 2,285 mètres. Les rochers formant la ceinture *ac* et *bd* sont la plupart

tout à fait verticaux, et s'élèvent à 200 mètres. Ils se composent d'une roche compacte disposée en assises presque horizontales, lesquelles ne sont point séparées par des scories, et fournissent une épaisseur qui varie entre plusieurs millimètres et quelques mètres. Au-dessous de ces assises, on arrive au *Black-Ledge* (noir-gradin), *ce* et *fd*, composé de matériaux semblables et stratifiés. Ce gradin (ou rebord) est élevé de 100 mètres au-dessus du lac de lave, *gh*, dont il forme le circuit. La cavité *ab* et ses parois sont probablement dues à un affaissement des roches primitives, occasionné par la fusion de leurs bases. Le rebord inférieur *ce* et *fd* a pu résulter en partie d'un abaissement vertical de la masse ; mais l'autre portion a sans doute été fournie par les nappes de lave qui ont coulé l'une après l'autre sur le Black-Ledge. Si, quelque jour, le fluide chauffé, montant du foyer volcanique jusqu'au bas de la grande ouverture, venait à augmenter de volume, il pourrait, en se répandant sous terre, fondre beaucoup plus loin les masses sous-jacentes, et, produisant ainsi un défaut de support, reculer les limites de l'amphithéâtre de Kilauea. On distingue sur différents points, aux environs de Kilauea, des traces non équivoques d'affaissements de plus de 30 et de 60 mètres. Ces affaissements sont limités par des parois verticales. Si tous étaient réunis, ils constitueraient une surface de 13 kilomètres carrés, ou deux fois celle du Kilauea lui-même. Des accidents semblables ont eu lieu sans doute au sommet du mont Loa, car, en cet endroit, la pression hydrostatique de la lave qui parvient aux bords du cratère le plus élevé, *a* (fig. 640), doit être considérable et provoquer la formation de fentes latérales. Dans de pareils cas, la lave se précipite dans toute ouverture qui lui est offerte, et commence à produire ses effets souterrains. Si, alors, la matière fondue rencontre, à un niveau inférieur, quelque point où elle puisse s'échapper, il arrive parfois que tout le sommet de la montagne, ou sa plus forte portion s'écroule.

On a observé en des temps modernes des exemples de

phénomènes semblables à Java et dans les Andes. Ainsi s'expliquerait pourquoi, d'ordinaire, dans les montagnes volcaniques, un cône actuellement en activité est entouré des ruines d'un autre cône, plus large et plus ancien, qui se termine habituellement par un précipice en forme de croissant, tourné vers l'élévation plus moderne. Quant aux volcans depuis longtemps éteints, le pouvoir d'érosion exercé par l'eau en mouvement, ou, dans certains cas, celui de la mer, ont parfois grandement modifié la forme de l'*atrium*, c'est-à-dire de l'espace compris entre les cônes plus ancien et plus nouveau. La cavité a dû se prolonger ainsi vers le bas et finir par un ravin. Alors, il n'est guère possible d'évaluer la quantité de roches qui manquent et qui ont été enlevées par l'explosion à l'époque où le cratère originel était en activité, ni même d'estimer quelle a été plus tard la portion engouffrée ou dénudée.

Java. — Dans l'île de Java, d'après le docteur Junghuhn, quarante-six éminences coniques, d'une hauteur qui varie de 1,220 à près de 3,660 mètres au-dessus du niveau de la mer, constituent les pics les plus élevés d'une chaîne montagneuse dirigée à travers l'île, de l'est à l'ouest. Toutes ces éminences, à l'exception d'une seule, ont été visitées et graphiquement représentées par l'infatigable voyageur que nous venons de citer. Dans aucune d'elles n'ont été découverts des débris organiques, ni sur les flancs, ni à l'intérieur, bien que des couches de formation marine existent plus près de la mer, à des niveaux inférieurs. Le docteur Junghuhn attribue l'origine de chacun de ces volcans à une succession d'éruptions sub-aériennes produites par un ou plusieurs évents centraux ; les scories, la cendre et les fragments de roches auraient été lancés dans l'atmosphère, et des courants de lave trachytique ou basaltique seraient descendus le long des pentes. On a vu, à des époques récentes, des produits semblables vomis par les sommets les plus élevés de ces pics. La pente extérieure de chaque cône est généralement plus abrupte vers son extrémité supérieure où les couches volcaniques présentent en même

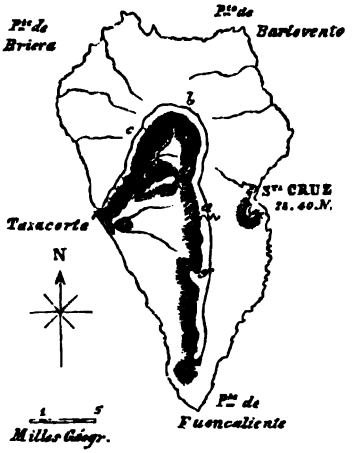
temps le plus fort plongement, 20, 30 et 35 degrés même ; mais celles-ci deviennent de moins en moins inclinées à mesure qu'elles descendent, et, près de la base du cône, l'obliquité n'est plus que de 10 et souvent de 4 ou 5 degrés (1). La rencontre des laves de plusieurs volcans voisins les uns des autres produit quelquefois des sortes de plateaux d'une grande hauteur, ou *selles*, dont les lits sont très légèrement inclinés. Au sommet de plusieurs des monts les plus élevés, le cône et le cratère aujourd'hui en activité ont de faibles dimensions, et sont entourés d'une plaine de cendres et de sable. Cette plaine est circonscrite à son tour par ce que le docteur Junghuhn appelle l'*ancienne enceinte du cratère*, laquelle mesure jusqu'à 305 mètres d'altitude verticale. Il existe aussi quelquefois, comme au mont appelé Tengger, une terrasse de hauteur intermédiaire, comparable au *Black-Ledge* de Kilauea (fig. 641). Beaucoup de ces espaces ainsi entourés d'une rangée de rochers semi-circulaires ou circulaires complets ont des dimensions bien supérieures à celles de tout ce que nous connaissons en fait de cratères ou de dépressions occupées par un lac de lave liquide. Les Espagnols ont donné à ces cavités le nom de *caldera* (chaudron). Nous pourrons employer le mot dans un sens technique, quelle que soit l'origine que l'on assigne au phénomène. Plusieurs de ces cavités, à Java, n'ont pas moins de 4 milles géographiques de diamètre (près de 7 kilomètres 1/2), et Junghuhn attribue leur formation à une troncature produite par explosion et par affaissement d'anciens cônes d'éruption. Malheureusement, bien que plusieurs de ceux-ci, et les plus élevés, aient perdu une partie de leur hauteur en des temps historiques, ni les habitants de Java, ni leurs dominateurs hollandais ne nous ont transmis jusqu'à présent aucun renseignement sur l'origine et la marche du phénomène dont il vient d'être question (2).

(1) *Java, deszelfs gedaante, bekleeding en invendige structuur, door F. Junghuhn.* — Traduction allemande de la 2e édition, par Hasskarl. Leipzig, 1852.

(2) *Principes de Géologie*, 9e édition, p. 493.

Le docteur Junghuhn pense que le Papandayang a perdu une partie de son sommet en 1772; mais la plupart des villes que l'on dit avoir été englouties par l'affaissement du sol auraient été simplement ensevelies par la lave.

Du point culminant de plusieurs des *calderas* de Java coulent des rivières qui, avec le temps, ont creusé de profondes vallées dans les flancs de la montagne. En général, les pentes extérieures de chaque cône sont sillonnées par d'étroits



(1 mille géogr. = 4ki,85 environ.)

FIG. 612. — Carte de Palma, d'après le capitaine Vidal, de la Marine Royale.

ravins rectilignes, profonds de 60 à 180 mètres, qui rayonnent du sommet dans toutes les directions, et deviennent plus nombreux en descendant. Les crêtes ou *côtes* qui séparent ces ravins rappellent, par leur disposition, les rais d'une ombrelle. Une montagne ne présente, au-dessus de 3,050 mètres, ni sillons, ni crêtes; à 3,050 mètres, il n'y en a pas plus de trois, tandis qu'à 150 mètres plus bas, on en compte jusqu'à quarante. Ils paraissent tous produits par l'action de l'eau courante, et si, parfois, ils entament le bord d'une caldera, c'est uniquement parce que le cône a été tronqué assez bas pour que son sommet ne s'élève plus aujourd'hui qu'à l'ancienne région moyenne où les torrents ont pratiqué ce genre de dentelure. On doit conclure de ces faits que si un

cône échappe à la destruction produite par une explosion ou un engloutissement, il peut rester intact dans sa portion supérieure, tandis qu'à un temps donné, vers sa base, il sera déchiré de profonds ravins creusés par les torrents.

Le docteur Junghuhn a remarqué, comme l'avait fait aussi Dana dans les îles du Pacifique, que les montagnes volcaniques, quelque larges qu'elles soient et exposées aux pluies torrentielles, n'ont pas de rivières tant que le feu agit à leur intérieur, et que le cratère le plus élevé continue à rejeter d'intervalle en intervalle des pluies de scories et des flots de lave. Ces injections et courants de roche fondue remplissent toutes les inégalités ou dépressions superficielles dans lesquelles l'eau pourrait se rassembler; de plus, le terrain est si poreux, que le ruisselet le plus exigu ne saurait se former. Au contraire, lorsque les feux souterrains ont, pendant longtemps, alimenté l'éjection, et sont près d'être épuisés, quand aussi les scories superficielles et les laves se décomposent et se recouvrent d'un sol argileux, l'érosion par les eaux commence bientôt ses opérations avec une énergie proportionnée à la rapidité de la pente et à la nature incohérente du sable et des cendres. Les laves les plus solides sont parfois caverneuses, et presque toujours elles alternent avec des scories et tuffs dont la désagrégation est facile; alors, elles résistent moins aux agents extérieurs, et la plupart sont promptement réduites à l'état de fragments d'une petitesse qui permet leur déplacement, car la division s'opère chez elles par des joints verticaux ou fentes, et produit des colonnes.

Iles Canaries. — Palma. — J'ai traité avec beaucoup de détail, dans les *Principes de Géologie*, des différentes théories qui ont été mises en avant par les autorités les plus compétentes, sur l'origine des cônes volcaniques et sur les lois qui régissent le mouvement de la lave en même temps que sa consolidation; je me bornerai donc ici à décrire les faits que j'ai observés récemment à Madère et dans quelques-unes des îles Canaries. Mon voyage en ces contrées date de

l'hiver 1853-1854; j'ai eu pour compagnon et collaborateur M. Hartung, de Kœnigsberg. Nous avons visité entre autres l'île de Palma, localité devenue classique par la description qu'en a donnée, en 1825, Léopold de Buch; ce savant l'a considérée comme un type de ce qu'il appelait *cratère de soulèvement* (1).

Palma est située à 46 milles géographiques (85 kilomètres environ) ouest de Ténériffe. Vue du détroit qui sépare les deux îles, elle paraît se composer de deux masses montagneuses principales entre lesquelles est la dépression *a* (Carte, fig. 642), ou passage de Tacanda élevé de 1400 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. A part certaines irrégularités que je mentionnerai ultérieurement, la plus septentrionale de ces masses montre, pour la forme générale, une grande ressemblance avec un cône tronqué; elle présente au centre une vaste et profonde cavité nommée par les habitants *la Caldera*. Cette cavité (*bcde*, fig. 642) mesure 3 à 4 milles géogr. (5 à 7 kilom.) de diamètre, et les précipices qui en forment l'enceinte s'élèvent à 750 mètres verticalement. A la base de ceux-ci commence une pente escarpée que recouvre une splendide forêt de pins, et qui se prolonge jusqu'à 300 et quelquefois 600 mètres plus bas. Le centre de la Caldera se trouve à 600 mètres environ au-dessus de la mer. Vers la moitié septentrionale de la crête circulaire se trouvent des pics qui comptent plus de 2,000 mètres au-dessus du même niveau. Chaque année cette partie se recouvre d'un manteau de neige pendant les mois de l'hiver.

Extérieurement, les versants du cône tronqué inclinent vers toutes les directions; les pentes en sont plus abruptes près de la crête, et beaucoup moins à mesure qu'elles se rapprochent de la contrée basse. Un grand nombre de ravins prennent leur origine sur les flancs de la montagne, à partir d'une petite distance du sommet; d'abord peu profonds, ils

(1) *Erhebung Crater.*

gagnent en dimensions à des niveaux plus bas, et, en même temps, ils augmentent en nombre comme sur les cônes de Java dont nous avons parlé ci-dessus.

La crête escarpée, circulaire, de la Caldera est continue sur toute sa longueur jusqu'au point Sud-Est, où le torrent qui écoule ses eaux s'est creusé une gorge profonde (*b*, *b'*, fig. 643);

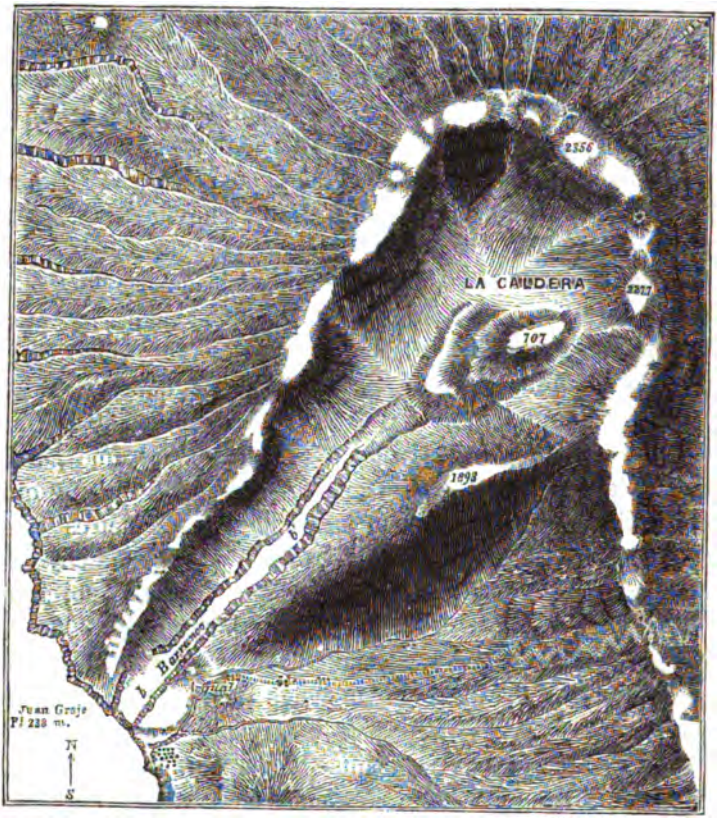


Fig. 643. — Carte de la Caldera de Palma, et le grand ravin appelé *Barranco de las Angustias*; d'après le *Survey* du capitaine Vidal, de la Marine Royale, 1857. Échelle : deux milles géographiques (3kil,765702) au pouce (0m,0203995).

il existe à peine un sentier par lequel le visiteur puisse descendre, si l'on excepte le passage appelé *Cumbrecito* (*e*, Carte, fig. 642, t. II, p. 273). Ce passage est un *col* ou point de

déversement des eaux, situé à 600 mètres environ au-dessus du fond de la Caldera, et à 1,200 mètres au-dessus de la mer; il se trouve à la limite précise de deux formations géologiques dont je vais parler incessamment. Il correspond aussi à la hauteur où, sur d'autres points de la Caldera, les précipices verticaux rejoignent l'espèce de talus ou pente rocailleuse couverte de pins. L'autre entrée, et c'est la principale, par laquelle la Caldera rejette ses eaux, pénètre par le grand ravin ou *Barranco* (*b*, *b'*, fig. 643), qui s'étend de l'extrémité Sud-Ouest de la Caldera jusqu'à la mer, distance de 8,300 mètres environ; dans l'espace ainsi compris, l'eau du torrent arrive d'une hauteur de 460 mètres environ.

L'esquisse (fig. 644) est due à la plume de Von Buch; elle a été prise d'un point de la mer que nous n'avons pas

FIG. 644. — Vue de l'île de Palma, et de l'entrée à la cavité centrale ou Caldera, d'après l'ouvrage *Iles Canaries*, de L. de Buch.

visité nous-mêmes; mais nous en avons vu assez pour nous convaincre que plusieurs cônes latéraux ont dû se produire le long de la grande pente vers la gauche, ainsi que de nombreux et profonds sillons naissant près du sommet et rayonnant vers la mer (voyez la Carte, fig. 643). Évidemment la mer ne peut pénétrer par le grand Barranco, comme on serait cependant tenté de le croire d'après cette esquisse.

La coupe ci-dessous (fig. 645) est tracée à travers l'île, de Santa-Cruz de Palma à Briera-Point, ou du Sud-Est au Nord-

FIG. 645. — Section à travers l'île de Palma, de Pointe Briera, au N.-O, à Santa-Cruz de Palma, au S.-E. (Voy. la carte, fig. 642, t. II, p. 273.)

ab. La Caldera (hauteur de *a*, 1830 mètres). — *c*. Point où commence la pente plus rapide. — *d*. Santa-Cruz de Palma ou Tedote. — *e*. Cône latéral, 1200 mètres au dessus de la mer (carte de Vidal). — *f*. Pointe de Briera. — *g*. L'un des lambeaux de la formation supérieure au centre de la Caldera. — S.P. Cône et cratère à moitié ensevelis de San-Pedro.

Ouest (voy. Carte, t. II, p. 273). Les hauteurs sont proportionnées aux distances horizontales; nous les avons établies ainsi, M. Hartung et moi.

On voit les laves incliner légèrement vers la mer, à Santa-Cruz où nous les avons observées coulant autour du cône de San-Pedro qu'elles ont déjà presque à moitié enseveli sans pénétrer dans le cratère. Nous éloignant du même point de la côte, et montant le profond Barranco de la Madera, nous avons aperçu, juste au-dessous de *c*, les laves basaltiques plongeant sous un angle de 5 degrés sans qu'il existât aucun dyke dans cette partie. Plus haut, où les bandes injectées étaient rares encore, le plongement augmentait de 10 à 15 degrés, et il devenait plus fort à mesure que l'on approchait de la Caldera, en *b*, où ces bandes abondaient.

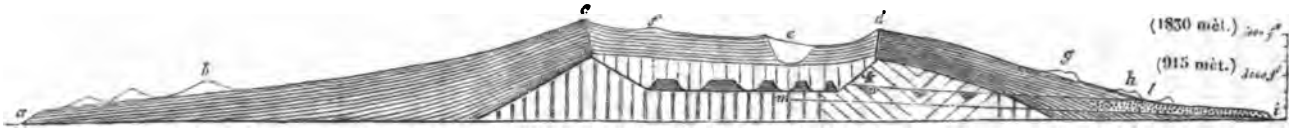
La coupe (fig. 646) est perpendiculaire à la précédente, et traverse le cône dans la direction du grand Barranco, c'est-à-dire du N.-E. au S.-O.

Des deux lignes inclinées qui descendent de la Caldera à la mer par le fond du Barranco, la plus inférieure, *mi*, représente le lit actuel du torrent; l'autre ligne, *kl*, indique le niveau auquel se voient, par lambeaux détachés, des lits de gravier très élevés au-dessus de la rivière actuelle : nous les avons indiqués par les espaces ponctués *k*; ils existent aussi au Sud-Est, sur la même pente. Ces lits, ainsi que les graviers et conglomérats continus plus inférieurs, en *l* et *i*, sont plus récents qu'aucune des roches volcaniques mentionnées dans la coupe.

La formation volcanique supérieure, dont je parlerai plus loin, est traversée de dykes nombreux que nous n'avons pu figurer sur cette petite échelle. Les lignes verticales tracées sur la formation inférieure représentent quelques-uns des dykes qui abondent aussi en cet endroit, les uns perpendiculaires, d'autres sans nombre, inclinés et tortueux à travers les mêmes roches. Les cinq proéminences de forme un peu pyramidale que l'on voit au fond de la Caldera (de chaque côté de *m*) ressemblent par leur structure et leur

FIG. 646.

COUPE DE L'ÎLE DE PALMA, DU NORD-EST AU SUD-EST.



Cette coupe passe à travers la Caldera et le Barranco de las Angustias ; les hauteurs sont proportionnées aux distances horizontales.
D'après les observations de C. Lyell et G. Hartung, 1854. (Voy. carte, t. II, p. 273.)

a. Pointe de Barlovento. (Voy. carte, fig. 642, t. II, p. 273.)
b. L'un des cônes, S.-S.-E., à partir de la pointe de Barlovento.
c. Pico de la Cruz, élevé de 2,356 mètres, et formant partie du bord septentrional de la Caldera.
cd. La Caldera.
d. Sommet du mont appelé Alejandro, de 1,892 mètres d'altitude, constituant la paroi méridionale de la Caldera.
e. Le Cumbrecito, ouverture la plus élevée conduisant à la Caldera.
f. Pico de Cedro, de 1277 mètres de hauteur ; le point le plus élevé du bord oriental de la Caldera.
g. Cône latéral sur les flancs de Alejandro.
h. Cône de Argual.
i. Falaise de Tazacorte.
kl. Ancienne ligne d'eau, oblique, marquée par une limite supérieure de gravier ou conglomérat.
mi. Niveau de la rivière, ou torrent du Barranco de las Angustias.

Les traits plus accentués, dans ce diagramme, expriment les portions qui seules tombent sous la ligne de coupe ; les traits plus faibles indiquent les autres portions du circuit oriental de la Caldera, qui sont en perspective, et que le spectateur serait à même d'apercevoir s'il était sur le bord occidental.

composition à la formation supérieure, et, sans doute, elles se sont affaissées pour prendre leur position actuelle, si la Caldera a été produite par engloutissement, ou bien elles ont glissé vers le bas, si la cavité doit être attribuée principalement à l'action érosive des eaux.

Dans la description de la coupe (fig. 646), nous avons annoncé que les rochers formant la ceinture de la Caldera consistaient en deux formations : supérieure et inférieure. La première présente seule des précipices verticaux, de la base desquels descend, sous une pente abrupte, la formation inférieure; mais celle-ci, bien que figurant extérieurement un talus, n'est point en réalité composée de matériaux brisés ou de débris détachés des roches supérieures : ce sont des masses en place qui la constituent. Les deux formations sont d'origine volcanique, mais elles diffèrent de composition et de structure : dans la supérieure, les lits sont une agglomérat de scories, de lapillis et de laves principalement basaltiques, le tout plongeant vers l'extérieur, et, en apparence, à partir de l'axe du cône originel, sous des angles variables de 10 à 28 degrés. Les laves solides ne représentent guère plus du quart de la masse entière, et se divisent en bandes d'épaisseurs diverses, quelques-unes scoriacées et vésiculaires, d'autres plus compactes, et même, dans quelques cas, grossièrement colonnaires. On voit toutes ces masses plus pierreuses s'amincir en dehors, et finir par s'éteindre partout où l'on peut les suivre horizontalement. Des brèches grossières ou agglomérats dominent dans la portion inférieure, comme si le commencement de la seconde série de roches eût signalé une ère de violentes explosions gazeuses. Certaines assises de cet agrégat de pierres à vives arêtes et de scories atteignent une puissance de 60 à 90 mètres. Elles sont réunies par une pâte de poussière volcanique ou scorie spongiforme.

Du côté droit du grand Barranco, près de sa sortie de la Caldera, nous avons observé, dans le précipice du bord, une colonne élevée de roches amorphes, bulleuses, dont les scories rouges ou couleur de rouille étaient comme tor-

dues, et rappelaient ainsi certaines laves que l'on remarque sur les pentes du Vésuve. Ce fait nous a paru démontrer que là, jadis, dut exister un soupirail, ou canal de décharge, qui fut ultérieurement enseveli sous les produits de nouvelles éruptions. Des dykes sans nombre, plus ou moins verticaux, consistant principalement en lave basaltique, traversent l'enceinte rocheuse de la Caldera; quelques-uns se terminent en montant, mais la plupart atteignent jusqu'au bord de la crête, et, par conséquent, sont postérieurs au précipice entier.

Nous n'avons pu découvrir dans aucune des masses d'agglomérat accumulées par les chutes successives, autour de la base des escarpements, un seul galet ou fragment usé par les eaux; chaque pierre empâtée conservait ses angles, ou si, parfois, on en rencontrait de globulaires, c'étaient des scories plus ou moins spongieuses et dont la forme, bien évidemment, ne pouvait être due à l'action des eaux. Il serait impossible de se rendre compte de l'absence de cailloux roulés, si la brèche grossière eût été produite par la force aqueuse sur une surface horizontale aussi étendue que la Caldera et les roches volcaniques qui l'entourent. La seule cause connue, capable de disperser sans arrondir leurs bords des blocs aussi pesants, dont quelques-uns mesurent jusqu'à 2 mètres de diamètre, aurait été le pouvoir de la vapeur, à moins que l'on suppose à la glace une coopération avec l'eau dans la production du mouvement en question; mais l'intervention de la glace ne saurait être admise à cette latitude (28° 40′), car on cherche en vain des traces de l'action glaciaire dans les autres régions montagneuses des îles Canaries.

La formation inférieure de la Caldera est aussi d'origine ignée. Elle diffère par sa couleur dominante de la formation supérieure; elle est verte, et, sur quelques points, jaune, au lieu de présenter la teinte brune, ou le gris de plomb, ou bien les nuances rougeâtres ordinaires au basalte et aux scories qui lui sont associées. On y rencontre communément des lits d'un tuff légèrement verdâtre, avec des roches de tra-

chyte et de greenstone, le tout tellement entremêlé de dykes, les uns verticaux, d'autres obliques, quelques autres, enfin, tortueux, qu'il nous a été impossible de déterminer l'inclinaison générale de ces lits, bien qu'au sommet de la grande gorge ou Barranco, ils se dirigent certainement en dehors, c'est-à-dire au Sud, comme l'a démontré de Buch. Mais en suivant la coupe par le bas du même ravin, vers le point où se partage le mont appelé Alejanado (*d*, fig. 642 et 646, t. II, p. 273 et 279), et sur lequel les roches de la formation inférieure sont très cristallines, on constate un fait qui n'a point été signalé par le géologue prussien, c'est que des bandes à découvert dans des escarpements de 450 mètres d'élévation présentent une disposition anticlinale avec plongement d'abord au Sud et ensuite au Nord, sous des angles qui varient de 20 à 40 degrés (voy. la coupe, fig. 646, *k*). Il est donc permis de présumer que les couches plus anciennes ont subi de grands mouvements avant l'accumulation de la formation supérieure. Comme ces couches n'ont encore fourni aucunes traces de débris organiques, on ne peut savoir positivement si elles sont d'origine sub-aérienne ou sous-marine. On peut seulement affirmer qu'elles ont dû leur production à des éruptions successives, principalement de laves feldspathiques et de tuff. Plusieurs d'entre elles qui, probablement dans le principe, ont été des tuffs peu consistants, se sont fortement durcies plus tard par le contact des dykes, et ont subi de profondes altérations sous d'autres influences plutoniques; elles ont ainsi acquis une structure demi-cristalline et un caractère presque métamorphique.

C'est un fait digne de remarque que l'existence d'une masse aussi considérable de roches volcaniques d'une date ancienne, juste sur l'emplacement d'une accumulation également vaste de laves et de scories d'une autre époque comparativement moderne ; ce fait, du reste, s'observe généralement sur des points très différents du globe. Il faut en conclure que si, dans l'histoire des volcans, on cite des contrées qui auraient été, pendant une certaine période, le foyer de l'action

ignée la plus intense, pour rentrer, à l'époque suivante, dans l'état de repos, de même aussi la manifestation de la chaleur souterraine a dû souvent persister sur un même point pendant plusieurs périodes géologiques successives, se relâchant peut-être un peu par intervalles, mais reprenant bientôt avec non moins d'énergie que par le passé.

Nous avons à examiner aussi l'origine de la masse volcanique plus élevée, c'est-à-dire de la série de roches auxquelles se lie plus intimement la forme particulière de la Caldera. La masse a-t-elle possédé la forme de dôme dès le principe, et s'est-elle accrue sous cette forme même par la superposition d'une enveloppe conique de lave et de cendres recouvrant une autre masse préexistante; ou bien, comme de Buch et son école l'admettent, les matières composantes se répandirent-elles d'abord horizontalement ou presque horizontalement, et furent-elles plus tard soulevées tout d'une pièce sous la forme de ce dôme dont la Caldera est le centre? Telle est la question qui se présente tout d'abord. Suivant la première hypothèse, le cône se serait élevé graduellement et complété de chacune de ses couches avec leur inclinaison actuelle, et puis aurait été ultérieurement traversé par tous ses dykes avant que la Caldera se fût dessinée. D'après l'autre hypothèse, la Caldera serait résultée de ces mêmes mouvements qui donnèrent la forme de dôme à la masse et inclinèrent fortement les couches; en d'autres termes, le cône et la Caldera dateraient d'une époque contemporaine. Ces deux manières de voir sont singulièrement opposées; l'agent principal invoqué est, pour l'une, le soulèvement, pour l'autre, l'affaissement. Le sens fondamental du mot *cratère de soulèvement* se rapporte à l'espèce de mouvement auquel certaine école attribue l'origine d'un cône ou d'une caldera; tandis que les agents principaux, pour l'école opposée, sont les explosions gazeuses, les affaissements et la dénudation par les eaux.

L'accueil favorable qui a été fait à la doctrine des soulèvements s'explique par plusieurs circonstances : un courant de

lave, a-t-on dit, qui se dirige sur une pente de plus de trois degrés, ne saurait y déposer une roche pierreuse à texture pleine; et si l'inclinaison dépasse 5 ou 6 degrés, la matière volcanique ne laisse sur son trajet qu'une bande mince et étroite de nature cellulaire ou fragmentaire. Par conséquent, sur tout point où l'on rencontrera des lits parallèles de lave compacte contre les flancs d'une caldera, surtout si ces lits mesurent une certaine épaisseur, on sera sûr qu'ils se seront solidifiés primitivement sur une pente très douce; et si, aujourd'hui, ils se trouvent inclinés sous les angles de 10, 20 et 30 degrés, il faudra conclure qu'ils ont été, dans le principe, presque horizontaux, et plus tard, seulement, amenés à leur état actuel d'inclinaison; la même conclusion sera applicable aux couches de lapillis, scories, tuffs et conglomérats qui alternent avec eux. On suppose qu'un tel dérangement de couches a presque toujours produit une large ouverture près du centre de soulèvement, et, pour Palma en particulier, la Caldera (que de Buch appelle l'*axe creux du cône*) fournit un exemple d'une solution de continuité de ce genre.

La théorie des cratères de soulèvement a suscité certaines objections auxquelles, jusqu'à présent, il n'a pas été répondu d'une manière satisfaisante.

D'abord, dans un grand nombre de calderas, dans celle de Palma, par exemple, le bord de la grande cavité et la rangée circulaire de précipices qui l'entoure ne présentent pas d'échancrures sur trois des quatre côtés; or il serait difficile de concevoir comment une série de couches volcaniques de 600 à 900 mètres d'épaisseur, s'étendant jadis sur une surface de 9 à 11 kilomètres du plus court diamètre, aurait été ainsi soulevée en masse et inclinée sous des angles aigus vers tous les points de l'horizon, sans avoir cependant éprouvé de rupture un peu considérable. On s'attendrait naturellement à rencontrer sur chaque face des fissures béantes s'élargissant à l'approche de la caldera. Les dykes, il est vrai, attestent à n'en pas douter plusieurs dislocations qu'aurait subies la masse, et qui seraient survenues à des époques

successives souvent très éloignées les unes des autres. Mais aucun de ces dykes n'a dû appartenir à la période du soulèvement paroxysmal de la fin ; car si la caldera eût existé lorsqu'ils commencèrent, la matière en fusion, aujourd'hui solidifiée dans chaque dyke, aurait, au lieu de s'infiltrer dans une fente, coulé dans le bas de la caldera pour en oblitérer la grande cavité.

On a objecté encore l'impossibilité d'admettre qu'une aussi vaste série d'agglomérats, de tuffs, de lapillis stratifiés et de laves très scoriacées, ait pu sortir d'un point limité, sans bientôt donner naissance à un monticule et parfois à un mont élevé. Les fragments très anguleux des agglomérats, dont une seule couche mesure quelquefois 60 à 90 mètres d'épaisseur, ont dû, après s'être heurtés dans les airs, tomber de nouveau près du bord du soupirail, et s'y disposer en bandes inclinées, plongeant au dehors de l'axe central d'éruption. Cette hypothèse concorde parfaitement avec la prédominance des agglomérats, lapillis et scories, dans les murs circulaires de la Caldera; mais, dans les ravins plus rapprochés de la mer, où l'inclinaison des couches diminue de manière à n'être plus que de 10 ou même de 5 degrés, la proportion de la matière massive comparée à la matière fragmentaire est précisément l'inverse. Il est naturel aussi que les dykes soient plus nombreux sur les points où les éjections ont été aux assises plus solides dans la proportion de 3 à 1 (comme en *b*, fig. 645, t. II, p. 277); tandis que les dykes seront plus rares lorsque les laves massives prédomineront (comme en *c*, *ibid.*). Plusieurs des lits scoriacés de *b* furent peut-être les extrémités supérieures de courants qui donnèrent naissance à des roches compactes en arrivant à *c*, et se répandirent sur une contrée plus horizontale; mais cette supposition ne saurait être admise par les partisans de la théorie des soulèvements, car elle implique l'existence d'un cône de beaucoup antérieur à l'époque de la catastrophe qui, selon eux, détermina la formation de la montagne conique.

Cependant, si l'on refuse d'admettre que les couches aient été soulevées par un effort postérieur à l'accumulation de toutes les roches compactes et fragmentaires, comment expliquer la forte inclinaison de certaines laves compactes sur les pentes de la Caldera ? Ces laves ont parfois 15 à 30 mètres de puissance; elles offrent une forme lenticulaire lorsqu'on les regarde du bas des escarpements, et, suivant toute apparence, elles sont parallèles aux lits de scories et de lapillis qui leur sont associées. Mais, malheureusement, il est impossible de gravir jusqu'au sommet, et de savoir si ce parallélisme n'est point une simple fiction. Les bandes solides ne s'étendent généralement que sur de petits espaces horizontaux, et quelques-unes ne sont peut-être autre chose que des laves d'intrusion, de la nature des dykes, et plus ou moins parallèles aux lits d'éjection. Des laves de cette sorte doivent, à une époque où le cratère était comble, s'être frayé un passage entre les couches fortement inclinées de scories et de lapillis. On sait que les laves s'épanchent souvent des flancs ou de la base d'un cône, au lieu de s'élever jusqu'aux bords du cratère. Néanmoins, une ou deux des masses pierreuses dont il vient d'être question m'ont paru ressembler aux laves qui coulent à la surface du sol. Elles ont pris sans doute une forme solide sur le large bord formé par le circuit du cratère. Ce circuit lui-même présenta probablement une largeur considérable après que le cône eut été partiellement tronqué. De plus, certaines laves peuvent avoir rempli parfois totalement l'*atrium*, ou, dans le cas particulier de la Somma et du Vésuve, ce qu'on appelle l'*atrio del Cavallo*, c'est-à-dire l'espace compris entre le nouveau et l'ancien cône. Lorsque par des produits de nouvelles éruptions, une pente uniforme s'est constituée, et que les deux cônes se sont réunis en un seul (*e*, *d*, *c*, fig. 652), la prochaine rupture d'un côté de la montagne peut montrer, au travers des parois de la caldera, une masse de roche compacte d'une grande épaisseur, reposant sur les éjections, et recouverte par celles-ci. De semblables enclaves de lave solide se formeront dans les flancs de

chaque montagne volcanique toutes les fois qu'il y aura rencontre de cônes latéraux ou, comme on les appelle, de cônes parasites, qui heurteront ou arrêteront le courant de lave, et parfois offriront de profonds cratères dans lesquels se précipitera la matière fondue.

L'intervention de ces différentes causes nous explique bien quelques cas exceptionnels de lits de roche massive intercalés au milieu d'autres lits d'une nature meuble ou scoriacée, le tout se montrant fortement incliné. Mais, pour rendre compte d'une succession de laves compactes et véritablement parallèles sous une forte inclinaison, il faut supposer que ces laves ont coulé originellement le long des flancs d'un cône oblique de 4 à 5 degrés, comme cela arrive dans plusieurs volcans actifs, et qu'elles ont acquis postérieurement une pente plus abrupte. Il serait téméraire d'exclure toute force de dislocation locale pendant le développement d'une montagne volcanique. On voit certains dykes croisant d'autres dykes d'une composition différente, ce qui indique une opposition d'âge. Le volume des roches remplissant les innombrables fissures que l'on observe à Palma doit être énorme, et s'il venait à être entraîné, la masse des éjections s'écroulerait infailliblement, et perdrait à la fois de sa hauteur de sa base. L'injection d'une telle matière à un état liquide dut être accompagnée d'une distension graduelle du cône, laquelle se serait opérée en même temps par des additions intérieures et extérieures.

Mais, dans l'hypothèse des soulèvements, on ne saurait admettre une inclinaison qui augmente par des déchirures et des injections aussi répétées, car il faudrait supposer en même temps que les pentes seraient devenues de plus en plus abruptes à mesure que le cône aurait vieilli et grandi ; puis enfin, comme conséquence, que les couches supérieures de lave solide se seraient conformées à des surfaces déjà inclinées de 20 degrés, ou même de 28 degrés, comme dans le cas particulier de la Caldera de Palma.

Les défenseurs de l'hypothèse des soulèvements sont donc

conséquents avec eux-mêmes lorsqu'ils attribuent le mouvement total des couches, que celles-ci aient été solides ou incohérentes, exclusivement à une catastrophe terminale. Le développement absolu de la force souterraine est pour eux le dernier incident de chaque série d'opérations volcaniques, la dernière scène du drame, et ils concluent à la nature paroxysmale de l'événement final d'après l'absence de tout signe de l'action successive et intermittente qui caractérisait les phénomènes volcaniques antérieurs.

Certains géologues pensent qu'aucune lave n'est capable de se solidifier en coulant sur une pente de plus de 3 degrés. Cette opinion, je crois, est erronée. La lave qui s'est épanchée du cône de Llarena près de Port Orotava, à Ténériffe, est en partie très colonnaire ; cependant elle est descendue par une inclinaison de 6 degrés. Un autre courant de lave, d'aspect moderne, près de la ville d'El Passo, à Palma, présente une obliquité moyenne de 10 degrés; il est remarquable par les dépressions en forme de bassins et profondes de 6, 9 ou même 12 mètres, que l'on aperçoit partout à sa surface. Tout autre courant qui viendra à couler sur cette surface en remplira les inégalités, bien que le degré d'inclinaison reste le même, et ainsi résulteront des masses de roches compactes et solides, de 6 à 9 mètres de puissance, reposant sur la base celluleuse, ou entourées par celle-ci. Au Nord-Est de Fuencaliente, à l'extrémité méridionale de Palma, on voit des laves, si récentes qu'elles sont encore noires et dépourvues de végétation, incliner jusque sous des angles de 22 degrés ; et cependant elles contiennent d'énormes masses de pierre compacte qui se sont consolidées principalement contre les parois de cavités profondes de 6 à 9 mètres. Ces parois se composent de lits dont la consolidation a marché de l'extérieur à l'intérieur ; au centre est resté un canal occupé par de la lave qui paraît avoir été assez liquide pour couler au dehors, et laisser ainsi une ouverture arquée, tandis que le plafond souvent s'est écroulé à l'intérieur. La force de la croûte enveloppante de scories, à l'extrémité in-

férieure du courant de lave où de pareilles cavités ont existé, a dû suffire pour arrêter le progrès de ce courant pendant des heures ou des jours, et en même temps la consolidation a pu se faire sous une grande pression hydrostatique.

Avant de quitter Palma, il nous reste encore à résoudre une question, celle de la quantité de dénudation qui s'est opérée dans la Caldera et ses environs. En supposant que la grande cavité, ou tout au moins une partie de cette cavité soit résultée de la troncature d'un cône, comme nous en avons suggéré l'idée dans le cours de nos explications antérieures, — jusqu'à quel point a-t-elle été postérieurement élargie, ou sa forme modifiée par l'érosion aqueuse? Il existe, ainsi que nous l'avons dit, dans le grand Barranco, un conglomérat composé de cailloux parfaitement arrondis, et de plus de 250 mètres d'épaisseur (voy. description de la coupe, t. II, p. 278). Ce dépôt énorme, développé sur une longueur de 5 à 6 kilomètres, provient évidemment de la destruction de roches analogues à celles de la Caldera, car le torrent actuel charrie incessamment des blocs de la même nature et de toute espèce de grosseur ; il les arrondit par le frottement dans son lit. Par quels changements de configuration survenus dans l'île, postérieurement à la formation du volcan ancien et de sa Caldera, s'est donc produite cette vaste accumulation qui, ensuite, a été partagée sur une profondeur de 250 mètres? Le ravin au fond duquel coule aujourd'hui le torrent entame jusqu'à cette profondeur la masse du conglomérat ancien. La présence de deux ou trois lits de lave contemporaine placés entre les couches de poudingue ne doit point nous surprendre; car, même de temps historiques, des éruptions ont eu lieu dans la moitié méridionale de Palma. Ces masses de lave basaltique, dont l'une présente la structure colonnaire, n'ont point été vomies par la Caldera, mais sont sorties de cônes plus rapprochés de la mer et immédiatement voisins du Barranco, par exemple du cône d'Argual (voy. Carte, t. II, p. 276) et autres. De même âge que le conglomérat, elles se composent seulement de trois

ou quatre courants d'étendue limitée; en beaucoup d'endroits, les falaises qui bordent la rivière sont dépourvues, sur une rive comme sur l'autre, de toute formation volcanique. Du côté droit du Barranco, le conglomérat s'arrête à l'Ouest, contre le précipice élevé E (fig. 647), qui n'est autre chose qu'un prolongement de la portion occidentale de l'enceinte de la Caldera. Il peut se faire que son étendue à l'Est de *b'* soit très considérable, mais on ne saurait l'affirmer, car cette portion est cachée sous les scories et laves modernes qui se sont répandues sur le grand plateau F.

Fig. 647. — A. Ravin ou Barranco de las Angustias, près de sa terminaison, à Palma.
b, *b'*, *b''*. Conglomérat, épais de 245 mètres sur quelques points.
c, *c'*. Courant intercalé dans des lits de conglomérat.
d, *d'*. Autre courant plus ancien de lave basaltique, en partie colonnaire.
E. Falaise d'anciennes roches volcaniques de la formation supérieure (t. II, p. 285), prolongement du bord occidental de la Caldera.
F. Plateau sur lequel est bâtie la ville d'Argual.

Comme on ne rencontre pas de débris organiques dans le gravier ancien, on n'a aucun moyen positif de déterminer s'il est fluvial ou marin. La hauteur de sa base au-dessus de la mer, sur le point où son épaisseur dépasse 250 mètres, est d'environ 116 mètres; mais quelques lambeaux s'élèvent à des niveaux de 300 et 460 mètres : tel est celui du sommet du Barranco, que l'on voit en *k*, et d'autres, dans la coupe (fig. 646, t. II, p. 279). Une masse aussi considérable de gravier témoigne de l'enlèvement d'une quantité prodigieuse de matériaux soustraits à la Caldera par l'action aqueuse. Que l'élément de transport ait été l'eau de rivière ou celle de la mer, il n'est pas moins certain qu'une grande partie des débris volcaniques, sable, lapillis et scories décrits ci-dessus (t. II, p. 280) comme appartenant à la formation supérieure de la Caldera, ne laisseraient après eux que peu de cailloux

roulés : presque tous ces dépôts périssables seraient entraînés sous forme de limon dans l'Atlantique. Les portions les plus dures perdraient par la destruction même de leurs arêtes et leur conversion en galets plus de la moitié de leur masse originelle, pour fournir au lit de l'Océan une quantité énorme de matières sédimentaires. Nous avons vu dans la Caldera de gros blocs que des chutes d'eau avaient détachés, une quinzaine de jours avant notre arrivée, et qui avaient roulé des précipices supérieurs pendant la fonte des neiges; de profonds dégâts continuaient à s'opérer dans la portion inférieure des roches, sous l'influence des mêmes causes. On nous apprit aussi qu'un terrible cours d'eau s'était précipité du Barranco, au printemps de 1854, renversant plusieurs maisons ou fermes sur son passage. L'action d'érosion, même de la pluie et des rivières, aidée de tremblements de terre, pourrait sans aucun doute, durant le cours des âges, remplir une vallée aussi vaste que la Caldera, mais probablement d'une autre forme. J'attribue volontiers à la cause volcanique la rangée circulaire de rochers qui circonscrit la Caldera, car elle me rappelle d'une manière frappante les précipices entourant sur trois côtés le Val del Bove à l'Etna; de plus, elle s'accorde parfaitement avec la description qu'a donnée Junghuhn des *anciens murs des cratères* actifs de Java, dont quelques-uns égalent, s'ils ne surpassent pas la Caldera de Palma. Celle-ci fut peut-être, dans le principe, un véritable cratère, lequel s'élargit plus tard en caldera par la destruction partielle d'un grand cône; mais si les choses se passèrent ainsi, la dénudation a dû depuis apporter de profondes modifications. Aucun géologue ne saurait aujourd'hui préciser la part qui revient à l'action des eaux et à celle des volcans. Le phénomène d'une rivière qui se creuse un lit à travers une masse épaisse d'alluvium ancien déposé pendant les oscillations de niveau des terres n'est point exclusif aux contrées volcaniques, et je n'insisterai pas davantage ici sur son explication; je renverrai le lecteur à ce qui a été dit dans le septième chapitre (t. I, p. 135 et suiv.).

La dénudation a-t-elle été produite par les eaux de la mer ou les eaux fluviales? Telle est l'importante question qu'il nous reste maintenant à examiner. Nous avons démontré que les matières composantes du grand cône ou ensemble de cônes du Nord de Palma étaient d'origine sub-aérienne : nous l'avons prouvé par l'irrégularité des fragments de roches qui existent dans les conglomérats; mais on peut se demander si, lorsque la Caldera fut formée, longtemps après, il ne s'établit pas avec la mer, par le grand Barranco, une communication analogue à celle du cratère de Saint-Paul (fig. 649) ; ou même encore si, après une période de submersion partielle, l'île ne se serait point élevée de nouveau à sa hauteur originelle. Dans un pareil cas, les eaux, en se retirant, auraient laissé derrière elles un conglomérat formé en partie de cailloux de rivière rassemblés sur les points où le torrent aurait pénétré successivement à la mer, et en partie de pierres arrondies par les vagues. Le torrent se serait creusé finalement un ravin profond dans le gravier et les laves qui lui étaient associées, à l'époque où la terre commença de nouveau à s'élever. De telles oscillations de niveau, bien que dépassant 600 mètres, sont loin d'être improbables, et elles nous mettent à même d'expliquer plus naturellement que par toute autre cause l'origine de la configuration du pays. Quant au fait que, jusqu'à ce jour, on n'aurait découvert aucune coquille marine dans le conglomérat, les recherches n'ont pas été assez complètes pour nous autoriser à profiter d'une preuve aussi négative. Mais, en même temps, je confesse qu'ayant trouvé, avant de visiter Palma, des coquilles marines et des bryozoaires en très grande abondance dans certains conglomérats marins élevés de la grande Canarie, et n'ayant pas, au contraire, rencontré un seul de ces corps organisés dans le Barranco de las Angustias, je regardai le gravier ancien comme étant d'origine fluviale. De telles conclusions sont toujours douteuses lorsqu'elles ne s'appuient pas sur des preuves plus positives, et l'intervention de la mer explique peut-être beaucoup mieux

que l'action fluviale divers phénomènes auxquels la Caldera et le Barranco doivent leur configuration. Nous en citerons un seul exemple, celui de la falaise élevée E (fig. 647, t. II, p. 290) déjà mentionnée ailleurs, et *cf* (Carte, t. II, p. 273), qui s'étend à 6 ou 8 kilomètres de la Caldera vers la mer, sur le bord droit du Barranco, tandis qu'aucune autre falaise de hauteur ou de structure analogues ne se rencontre sur l'autre bord, où l'on aperçoit au contraire sur une longueur de plusieurs kilomètres, vers le Sud-Est, un plateau F (fig. 647, t. II, p. 290) supportant plusieurs petits cônes volcaniques. On peut supposer que la mer abandonna jadis l'escarpement E après avoir enlevé une portion de l'extrémité Sud-Ouest de l'ancien mont en forme de dôme du Nord de Palma, tandis qu'un torrent ou une rivière aurait produit un escarpement de même forme et d'élévation presque égale sur les deux bords. Quant au fait du conglomérat ancien qui monte sous un plan incliné *ilk* (t. II, p. 279), à partir du niveau de la mer jusqu'à une hauteur de 460 mètres près de l'entrée de la Caldera, il ne milite pas du tout en faveur de l'action fluviale, bien que certains lambeaux élevés de la même roche appartiennent véritablement à un ancien lit de rivière : dans l'Amérique du Sud, des lits de gravier d'origine marine offrent une pente semblable en montant vers l'intérieur des terres ; Darwin (1) a donné une explication très satisfaisante de ce genre de disposition.

Le *Pas* du Cumbrecito (*e*, fig. 646, t. II, p. 279) fournit un autre argument en faveur de la dénudation par la mer ; il forme une échancrure dans la ligne supérieure des escarpements qui entourent la Caldera, et sépare la montagne appelée Alejenado *d* (fig. 646, t. II, p. 279) de la paroi orientale *cf*, coupant dans toute sa hauteur la formation supérieure ; la rangée de précipices *fe*, au côté oriental de la Caldera, se continue sans interruption et conserve son altitude absolue de 460 à 610 mètres au-dessus de sa base jusqu'au Sud du Cumbrecito, c'est-à-dire de *e* en *a* (Carte,

(1) *Geol. Observ., South America*, p. 43.

fig. 642, t, II, p. 273). Dans ce prolongement des roches, qui atteint vers le Sud jusqu'à la distance de 800 mètres, on voit des lits de matières volcaniques et des dykes, tout comme dans les parois de la Caldera.

L'échancrure qui forme le pas du Cumbrecito, *e* (t. II, p. 279), a bien plus l'apparence d'un ancien lit creusé par un courant d'eau que celle d'une fissure ou crevasse produite par une faille. Dans le cas d'une faille, la formation inférieure n'aurait point résisté, et ne serait pas restée debout en travers du Cumbrecito pour constituer un relief de partage des eaux ; mais elle se serait enfoncée, et aurait été remplacée par les roches basaltiques venant d'en haut. Si l'on admet que la mer ait jadis fait irruption dans la Caldera par ce point, et en même temps, par le grand Barranco, l'élément aqueux aura pu produire une brèche telle que *e*, et toute une ligne de falaises comme celle que l'on observe aujourd'hui entre *e* et *a* (Carte, t. II, p. 273) ; il n'y aura pas eu de falaises correspondantes à l'ouest de *e*, *a*.

Cependant on ne découvre aucun amas de conglomérat attestant l'érosion supposée au Cumbrecito, qui est élevé de 1,166 mètres au-dessus du niveau de la mer. On pourrait aussi objecter à l'hypothèse admettant une dénudation produite par la mer à Palma, que, sur les pentes extérieures de cette île, on n'observe pas de falaise marine ancienne ; les flancs de la montagne, moins les points sillonnés par les ravins ou hérissés de cônes latéraux, descendent à la mer par une pente uniforme. Pour répondre à cette objection, j'observerai que je n'ai point recours à une submersion de 915 mètres de l'ancien cône pour permettre à la mer de se précipiter à la fois dans le grand Barranco et le Cumbrecito, et de couler dans la Caldera ; il me suffit de supposer au sol un abaissement qui permette aux vagues de battre la base des falaises basaltiques dans l'intérieur de la Caldera, et de se frayer un passage à travers le Cumbrecito ; celui-ci dut présenter de tout temps une dépression considérable pratiquée aux dépens de la formation supérieure. Mais des vagues

qui auraient eu le pouvoir d'accumuler dans le Barranco une masse de conglomérat de 245 mètres d'épaisseur n'auraient-elles laissé aucun témoignage de leur action d'érosion sur les pentes de l'île ? On n'y voit aucun monument de ce genre, et de là une objection qui ne manque pas de valeur contre la supposition que la mer n'aurait jamais pénétré dans la Caldera. Pour expliquer le phénomène, nous dirons d'abord que des falaises ne se produisent pas aussi facilement autour des points d'une île vers lequels plongent les lits que sur les autres points desquels ils plongent; en second lieu, des falaises et berges marines peu développées, préexistantes, ont pu disparaître plus tard sous les pluies de cendre ou les courants de lave partis des cônes latéraux pendant les éruptions contemporaines du conglomérat du grand Barranco.

Sur la côte orientale de Palma, à la distance de 800 mètres environ de la mer, dans le ravin de Las Nieves, non loin de Santa-Cruz, on observe un conglomérat de cailloux parfaitement arrondis, d'une épaisseur de 30 mètres, recouvert de lits successifs de lave dont la puissance est de 30 mètres aussi. Dans cet exemple, les lits anciens de gravier occupent une position très analogue au cône enseveli S, P (fig. 645, t. II, p. 277); j'en ai conclu, lors de mon séjour à Palma, qu'ils étaient d'origine fluviale. Mais, quel que soit leur mode de formation, qu'ils aient été accumulés par l'eau douce ou par l'eau salée, il n'en est pas moins vrai que la superposition d'une masse aussi énorme de lave à un conglomérat lui-même de 30 mètres d'épaisseur démontre la facilité avec laquelle les pentes extérieures d'une île ont été dénudées par la mer, et cependant n'ont conservé aucun signe superficiel de l'action exercée par l'élément salé; toute ancienne berge ou delta ayant existé jadis à l'embouchure d'un torrent a pu disparaître plus tard sous l'enveloppe de nouvelles éruptions volcaniques. Néanmoins nous sommes arrivés, M. Hartung et moi, sur place, à conclure que les flots de la mer n'avaient jamais pénétré dans la Caldera, bien qu'ils aient pu atteindre à quelque distance dans l'espace aujour-

d'hui occupé par le Barranco de las Angustias, ou par certaines couches de conglomérat largement répandues à l'Est de celui-ci.

Depuis la cessation de l'action des volcans dans le nord de Palma, les éruptions les plus fréquentes paraissent avoir eu lieu suivant une ligne courant N. et S., de *a* à Fuencaliente (Carte, t. II, p. 273) ; l'un des volcans de cette ligne, appelé Verigojo, *g*, ne mesure pas moins de 2000 mètres d'élévation. Les laves qui sont descendues de plusieurs ouvertures, le long de cette chaîne, ont atteint la mer sur les côtes Est et Ouest, et plusieurs d'entre elles sont aussi arides et dépourvues de végétation que si elles venaient de couler. La tendance habituelle des évents volcaniques à suivre une disposition linéaire, telle qu'on la remarque sur une grande échelle dans les volcans des Andes et de Java, se reproduit en petit pour les cônes et cratères de la courte chaîne de Palma. Des auteurs pensent que le phénomène se lie avec l'existence de fentes profondes qui, au sein de la terre, communiqueraient avec un foyer de chaleur.

En discutant aussi longuement que je l'ai fait la question de savoir si la mer a joué un rôle important ou minime dans l'agrandissement de la Caldera de Palma, j'ai voulu montrer au moins combien il faut de faits et d'observations pour expliquer la structure et la configuration de ces sortes d'îles volcaniques. Peut-être trouvera-t-on utile que je cite encore, comme illustration du même sujet, la condition géographique actuelle de l'île Saint-Paul ou Amsterdam, située dans l'Océan Indien, à moitié distance entre le cap de Bonne-Espérance et l'Australie.

Le cratère de cette île n'a que 1 kilomètre et demi de diamètre sur 55 mètres de profondeur, et les plus élevés des sommets qui l'entourent mesurent environ 245 mètres, de telle sorte que, relativement à leur masse, ces cônes et cratères sont insignifiants, comparés au cône et à la Caldera de Palma ou des ravins volcaniques analogues de Loa et Kea, îles Sandwich. Mais l'île de Saint-Paul fournit un exemple de

cette classe de volcans insulaires dans lesquels l'Océan pénètre aujourd'hui par un seul passage. Tout cratère a presque invariablement un côté beaucoup plus surbaissé que les autres,

FIG. 648. — Carte de l'île de Saint-Paul, dans l'Océan Indien ; latitude, 38° 44' S. ; longueur, 77°, 57' E. ; examinée par le capitaine Blackwood, de la Marine Royale, 1812.

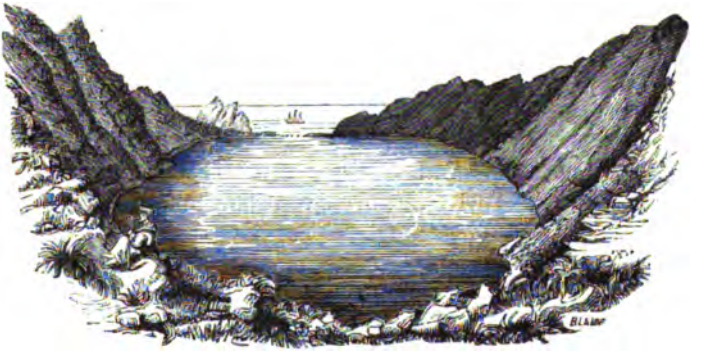


FIG. 649. — Vue du cratère de l'île de Saint-Paul.

celui vers lequel les vents prédominants ne soufflent jamais ; en effet, dans la direction de ce côté, les pluies de pous-

sière et de scories sont rarement chassées pendant les éruptions. Il existe aussi, sur la pente inférieure, un point situé plus bas que tous les autres, par lequel, dans le cas d'une submersion partielle, la mer peut entrer aussi souvent que la marée monte, ou aussi fréquemment que le vent souffle dans cette direction. Par la même raison qu'elle se conserve une entrée dans le *lagoon* d'un *atoll* ou récif annulaire de corail, la mer ne laisse pas se combler le passage qui la conduit au cratère, mais elle se retire à la marée basse,

Fig. 650. — Profil de l'île de Saint-Paul (côté N.-E.). Nine-pin rocks éloignés de 3 kilomètres. (Capitaine Blackwood.)

ou toutes les fois que le vent tourne. L'échancrure, par conséquent, devient d'autant plus profonde que l'île s'élève davantage au-dessus du niveau de la mer ; elle augmente peut-être de plusieurs décimètres ou de quelques mètres en un siècle.

Le cratère du Vésuve avait, en 1822, 610 mètres de profondeur ; si son cône eût été à moitié submergé comme celui de Saint-Paul, le pouvoir d'excavation de l'Océan, joint à la force graduelle de soulèvement, aurait donné lieu à une vaste caldera. Par conséquent, de quelque nature qu'aient été les forces ignée ou aqueuse qui ont façonné le Val del Bove, à l'Etna, ou le profond abîme appelé la Caldera au nord de Palma, il est difficile de nier qu'un grand nombre de cratères se sont agrandis sous forme de calderas par le pouvoir de dénudation de l'Océan, quelque considérables qu'aient été d'ailleurs les oscillations survenues dans les niveaux relatifs de la terre et de la mer.

Pic de Ténériffe. — La vue suivante, gravée d'après une esquisse que nous avons prise, M. Hartung et moi, lors de notre voyage à Ténériffe, en 1854, indique la manière dont ce cône élevé est entouré sur deux de ses côtés par ce que je considère comme les ruines d'un cône plus ancien résultant principalement d'éruptions sorties d'un sommet disparu. Ce

FIG. 651.

LE PIC DE TÉNÉRIFFE ET LAS CAÑADAS VUS DU NORD-EST.

a. Le Pic, élevé de 1290 mètres environ au-dessus du niveau de la plaine *b*.
bb. L'atrium, ou Las Cañadas.
cc. Enceinte de la Caldera, ou escarpements autour de l'atrium.
dd. Laves qui ont coulé du Pic, ou de cônes latéraux.
e. Point correspondant à *e* de la coupe, figure 652, tome II, page 300.

sommet, duquel une ou plusieurs bouches volcaniques ont probablement vomi leurs laves et leurs diverses éjections, ne dut pas occuper jadis précisément la place sur laquelle s'élève le Pic actuel ; celui-ci, non plus, n'a pas eu de tout temps la même forme ; mais sa position n'a probablement pas matériellement changé. Le grand circuit ou demi-circuit fourni par les escarpements *cc*, et qui entoure l'atrium *bb*, est analogue à l'enceinte de la Caldera de Palma ; mais, à Ténériffe, les pentes abruptes ont des dimensions insignifiantes comparativement à celles de Palma. En général, leur hauteur ne dépasse pas 150 mètres, et rarement elle atteint 300 mètres. La plaine ou atrium *bb* (fig. 651 et 652), qui s'étend au pied des escarpements, et que l'on désigne dans la localité sous le nom de Las Cañadas, est recouverte de sable et de cendres lancés du Pic ou des cratères ouverts sur ses flancs. Des courants copieux de lave *dd* ont aussi coulé vers le bas, partant de bouches latérales et spécialement d'un cratère appelé le Chahorra (fig. 652), lequel ne se voit pas dans l'autre figure (651), caché qu'il est par le Pic. La dernière éruption de ce volcan date de 1798.

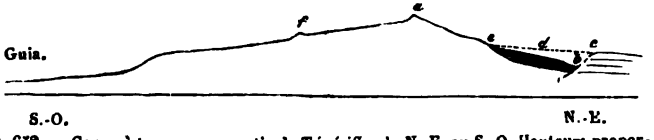


Fig. 652. — Coupe à travers une partie de Ténériffe, du N.-E. au S.-O. Hauteurs proportionnées aux distances, d'après de Buch, *Iles Canaries*.

a. Pic de Ténériffe. — *b*. Las Cañadas ou atrium. — *c*. Escarpements qui entourent l'atrium. — *d*. Laves modernes. — *f*. Cône et cratère de Chahorra.

Par le défaut de coupes naturelles, aucun géologue n'est parvenu encore à déterminer jusqu'à quel point les laves *dd* (fig. 651 et 652) ont rétréci le cirque ou atrium *b*, ou bien se sont frayé une voie à partir du rocher *c* ; mais supposons que le Pic et le Chahorra continuassent à vomir des produits pendant des siècles, le cône nouveau *a* ne tarderait pas à s'unir au cône ancien, et la lave coulerait d'abord de *e* à *c*, puis de *a* à *c* (fig. 652) ; de telle sorte que la pente finirait par ressembler à celles que formèrent la lave et les éjections

parties du sommet *a*, vers Guia, sur le versant S.-O. du cône.

Madère. — Chaque île volcanique, autant que je puis en juger par mes observations personnelles, a ses caractères particuliers de structure géographique et géologique, et cela, dans de si larges limites, que je n'ai pas la moindre tentation de me servir d'une théorie unique, par exemple de celle des *cratères de soulèvement*, pour expliquer leur origine et leur mode d'accroissement. Peu d'îles se ressemblent plus entre elles que Madère et Palma; toutes deux sont composées principalement de roches basaltiques d'origine sub-aérienne ; mais lorsqu'on les compare soigneusement entre elles, il n'est aucun point de leur structure qui ne présente des différences.

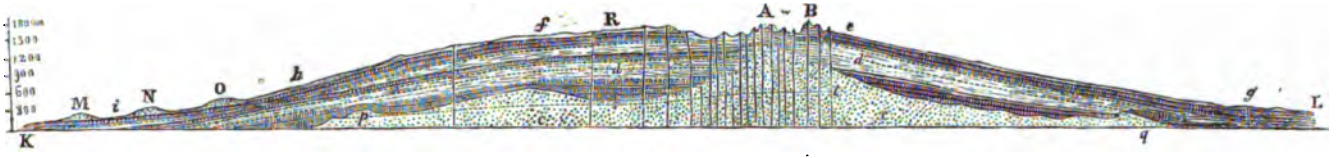
La formation la plus ancienne connue à Madère est d'origine volcanique sous-marine, et se rapporte peut-être à l'époque tertiaire miocène. On rencontre à San - Vicente, sur la côte septentrionale, des tuffs et calcaires contenant des coquilles marines et des coraux, qui s'élèvent à plus de 360 mètres au-dessus de la mer, et portent ainsi le témoignage d'un exhaussement datant au moins du commencement de l'action volcanique dans cette contrée.

Les cailloux roulés de ces couches marines sont parfaitement arrondis et polis ; ils contrastent fortement, sous ce rapport, avec les fragments angulaires de la même variété de roche si fréquente dans les tuffs et agglomérats situés au-dessus, et formés à un niveau supérieur à celui de la mer.

La longueur de Madère, de l'Est à l'Ouest, est d'environ 48 kilomètres, et sa largeur, du Nord au Sud, de 16 kilomètres. La coupe ci-contre (fig. 653) tracée sur une échelle dont les hauteurs sont proportionnées aux distances horizontales, facilitera l'intelligence des rapports sous lesquels, géologiquement considérée, Madère ressemble à Palma ou en diffère. Dans la région centrale, en A, de même que dans la contrée qui l'entoure de tout côté, on voit, comme au centre de Palma, un grand nombre de dykes pénétrer à travers une vaste accumulation d'éjections volcaniques *c*. On y observe aussi, de même qu'à Palma, à mesure que l'on

FIG. 635.

COUPE DE MADÈRE, DU NORD AU SUD, C'EST-A-DIRE DE POINT SAINT-JORGE A POINT DA CRUZ, PRÈS FUNCHAL.



Longueur de la coupe, 19 kilomètres; hauteurs proportionnées aux distances; d'après les observations de Ch. Lyell et G. Hartung, 1853-54.

A. Pico Torres (ou Pico do Gatto), élevé d'environ 1845 mètres.
B. Pico Ruivo, le mont le plus élevé de Madère; environ 1848 mètres de hauteur.
c. Scories, agglomérat, lapillis, tuffs et déjections volcaniques, avec laves accidentelles fortement scoriacées.
d. Alternances de laves avec tuffs et lapillis, ou avec bandes de partage en argile rouge (latérite). La même lettre comprend aussi toutes les alternances des lits entre R et *s*.
e. Commencement de laves plus fortement inclinées au côté nord de Madère; pente ordinairement de 10 degrés.
f. Commencement de laves plus fortement inclinées au côté méridional; la pente, ordinairement de 15 degrés.
g. Dyke de Jogo de Bola, dans Ribeiro S. Jorge.
h. Inclinaison des lits, 15 degrés; parfois, mais rarement, 20 degrés.
i. Pente ou plongement des laves, 15 degrés.
K. Point da Cruz, près Funchal.
L. Point S. Jorge, sur la côte nord.
M. Pico da Cruz, elevé de 358 mètres; cône moderne.
N. Pico S. Martinho, 235 mètres de haut.
O. Pico S. Antonio, 430 mètres.
p. Cône enseveli dans Ribeiro do Torreão.
q. Lignite et lit à feuilles.
R. Pico S. Antonio, 1740 mètres de haut.
psl. Ligne au-dessous de laquelle les roches sont cachées à la vue. Tout ce qui existe au-dessous de cette ligne ne repose que sur des conjectures.

1 2 Les lits indiqués par le signe n° 1 se composent de laves plus ou moins compactes au-dessous desquelles gisent des argiles rouges ou latérites, probablement d'anciens sols (voy. t. II, p. 239), représentées par les lignes interrompues n° 2. Ces bandes rouges, de même que les laves n° 1, sont très nombreuses en réalité; mais, par le défaut d'espace, nous n'avons pu en figurer que quelques-unes dans le diagramme.

s'éloigne du centre, les dykes diminuer en nombre, et les lits de scories, lapillis, agglomérats et tuffs commencer à alterner avec les laves pierreuses *dd*, jusqu'à la distance d'un kilomètre et demi au plus de l'axe central; à cette distance se présente une masse volcanique située au-dessous de *fh* et *eg*, consistant à peu près exclusivement en nappes ou coulées de laves, avec quelques bandes rouges d'argile ocreuse ou latérite, qui furent probablement d'anciens sols. Les lignes plus foncées indiquent la prédominance de ces laves; celles-ci ont coulé sur la surface; elles consistent en basalte ou diverses sortes de trapp, et quelquefois en trachyte. La teinte plus claire *c* exprime une accumulation de scories, d'agglomérats et d'autres matériaux qui ont dû s'entasser, à ciel ouvert, dans l'intérieur ou autour des orifices principaux d'éruption, et entre les cônes volcaniques.

Le Pico Torres A, élevé de plus de 1,830 mètres, est l'un des nombreux pics centraux composés de matières rejetées. Par l'union de la base de plusieurs pics semblables, il se forme des reliefs ou crêtes montagneuses du sommet desquels se projettent des dykes verticaux semblables à des tours qui restent debout au-dessus de la surface en décombres des couches moins consistantes de tuff et de scories. De là ces lignes pittoresques et brisées qui donnent un cachet particulier et tout à fait romantique au paysage de la région la plus supérieure de Madère. Au nord de A s'élance le Pico Ruivo B, le plus élevé de l'île, mais qui ne dépasse cependant que de quelques décimètres la hauteur du Pico Torres. Sa composition est la même, mais sa portion culminante conserve une forme plus nettement conique, et se trouve surmontée d'un dyke; des courants de laves scoriacées adhèrent à ses flancs abrupts. Plusieurs grands pics semblables se profilent à l'Est et à l'Ouest de A: ils semblent des ruines de cônes d'éruption; du moins, les matériaux qui composent certains d'entre eux ont-ils été disposés sous toute espèce d'inclinaison et de direction. Parmi ces pics, on distingue le Pico Grande, C (fig. 655), aujourd'hui enseveli à moitié sous

des laves plus modernes qui ont entouré sa base. C'est peut-être à la juxtaposition d'un aussi grand nombre de cônes ou points d'éruption, et au croisement de leurs laves le long de la grande ligne Est et Ouest de l'action volcanique, que correspondent les couches pierreuses de la région centrale située entre *e* et *f* (fig. 653) ; ces couches sont presque horizontales, ou ne plongeant guère que de 3 à 5 degrés, au lieu de présenter une pente très roide comme celles du circuit de la Caldera à Palma.

Les lits constituent souvent des plateaux : tel est celui appelé Paul da Serra (*a*, fig. 655, t. II, p. 307). Mais lorsqu'on s'éloigne de l'axe central, les laves acquièrent une inclinaison moyenne de 10 degrés au Nord (entre *e* et *g*, fig. 653), et de 15 degrés au Sud (entre *f* et *h*). Plus près de la mer, en *i* et L, où existent les laves les plus modernes, l'inclinaison diminue jusqu'à 5 degrés et même à 3 degrés et demi, comme on le voit en K, près de Funchal. Sous le rapport de l'inclinaison plus faible des laves vers la mer, et de leur association en cet endroit à des cônes modernes d'éruption tels que M, N, O, il existe une étroite analogie entre Madère et Palma.

On observe aussi des cônes d'éruption ensevelis sur différents points tels que *p* et *p* (fig. 653) ; ces cônes ont été recouverts par la lave arrivant de la région centrale.

L'épaisseur des basaltes les plus solides qui alternent avec les tuffs dépasse rarement 450 mètres ; mais au-dessous de Pico Santo-Antonio (R, fig. 653, t. II, p. 302), elle atteint environ 915 mètres, et l'on aperçoit ces roches contre les flancs d'une vallée profonde appelée Curral, dont nous allons parler.

Comme règle générale, les laves de Madère, qu'elles soient cellulaires ou compactes, sont disposées par nappes continues, parallèles les unes aux autres. Lorsqu'on les examine dans les falaises au bord de la mer, sur des coupes qui croisent la direction suivant laquelle elles ont coulé, on voit qu'elles varient beaucoup d'épaisseur, même à la simple distance de quelques centaines de décimètres, et qu'ordinaire-

ment elles s'amincissent jusqu'à disparaître entièrement en moins de 400 mètres. Dans les ravins qui rayonnent du centre de l'île, les lits sont plus persistants; néanmoins, même en ces endroits, on les voit ordinairement se terminer à quelques kilomètres; leur épaisseur est aussi très variable, et parfois elle s'élève brusquement de quelques décimètres à plusieurs mètres.

Dans aucune des divisions rouges ou latérites dont il vient d'être question je n'ai rencontré des débris de plantes fossiles; mais M. Smith, de Jordanhill, a été plus heureux, et a recueilli, en 1840, des branches et racines d'arbrisseaux carbonisés, au sein des argiles rouges inférieures au basalte, près de Funchal. Nous avons, toutefois, obtenu, M. Hartung et moi, au ravin de Saint-Jorge, partie nord de l'île, des preuves suffisantes de la primitive existence d'une végétation terrestre, et, conséquemment, de l'origine sub-aérienne d'une grande partie des laves de Madère. On connaît depuis longtemps l'existence d'un lit de lignite impur couvert de basalte, en *q*, dans la coupe (fig. 653). Nous avons observé, associées à ce lignite, plusieurs couches de tuff et d'argile ou boue endurcie, dans l'une desquelles gisaient abondamment des feuilles de plantes dicotylédonées et de fougères. Suivant M. Charles J.-F. Bunbury, ces dernières indiqueraient les genres *Sphenopteris*, *Adiantum?*, *Pecopteris* et *Woodwardia;* l'une d'elles présente les nervures particulières au *Woodwardia radicans*, espèce qui n'est pas commune à Madère. Parmi les feuilles dicotylédonées, certaines se rapportent en apparence à la famille des Myrticées; elles sont la plupart à surface lisse, non plissée, avec une texture un peu rigide, coriace, et des bords entiers. « Ces caractères, dit M. Bunbury, appartiennent au type Laurier, et impliquent une certaine analogie entre les débris de végétaux anciens et les forêts modernes de Madère où les lauriers et autres arbres toujours verts abondent avec leurs feuilles charnues, lustrées et à bords entiers, tandis qu'au-dessous se trouve une végétation de fougères et autres plantes. »

Le lignite et le lit à feuilles dont nous avons parlé se trouvent à 305 mètres au-dessus du niveau de la mer, et sont surmontés de basaltes et de scories sur 335 mètres de haut ; ce fait implique l'existence d'une ancienne végétation terrestre bien antérieure à la formation volcanique qui la recouvre. La nature des tuffs qui accompagnent le lignite, et quelques-uns des agglomérats environnants, autorisent à admettre que, près de cet endroit, eut lieu jadis une série d'éruptions. Il n'est pas improbable non plus que, çà et là, aient existé des cratères latéraux où se seraient accumulés le lignite et le lit à feuilles; en effet, bien que les bouches volcaniques soient remarquablement rares à Madère, eu égard au nombre considérable de cônes parfaits, on remarque sur le mont appelé Lagoa, à 4 kilomètres Ouest de Machico, un cratère aussi parfait que celui d'Astroni près de Naples.

Au bas de la cavité circulaire (fig. 654), profonde d'environ 45 mètres, se trouve une plaine de 150 mètres à

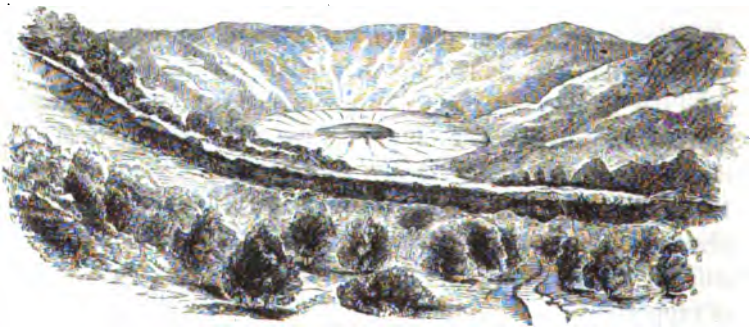


Fig. 654. — Cratère de Lagoa, à 3 kilomètres Ouest de Machico, Madère.

Dans ce dessin, d'après un croquis que j'ai pris moi-même, la profondeur du cratère paraîtra peut-être trop considérable ; mais on remarquera qu'il ne présente pas de grands arbres, et que la plupart des buissons que l'on voit appartiennent au *Vaccinium Madeirense*, de 1m,50 à 1m,80 de haut. Immédiatement derrière le premier plan, on aperçoit une rangée de rochers qui se présentent comme un rempart.

peu près de large, occupée à son milieu par un étang vers lequel la portion plane du sol incline doucement de tous les points de l'horizon. Les cratères éteints offrent souvent une nappe d'eau de ce genre à leur intérieur. Excepté vers son

milieu, l'étang dont il est ici question est peu profond et nourrit des plantes aquatiques. Un grand nombre de feuilles y auront sans doute été chassées des hauteurs environnantes, pour former un amas de matières semblables à de la tourbe, et susceptibles de se convertir en lignite.

Si des courants de lave, descendant des hauteurs les plus considérables, fussent entrés dans ce cratère de Lagoa, ils eussent formé des masses épaisses de roche compacte qui se seraient refroidies lentement sous une grande pression, comme celles qui surmontent aujourd'hui le lignite impur de Saint-Jorge. L'inclinaison de ce dernier dépôt ne saurait être clairement déterminée, les couches ne sont visibles que sur une très courte étendue ; on peut en dire autant du lit à feuilles, dont on découvre cependant une portion plus inférieure en descendant le ravin. Il semble toutefois que le plongement a lieu vers le Nord, c'est-à-dire vers la mer ; il concorde avec l'inclinaison générale des couches basaltiques et tuffacées.

Au centre de Madère est une vallée profonde appelée le Curral (B, fig. 655), entourée de précipices qui ont de 400 à

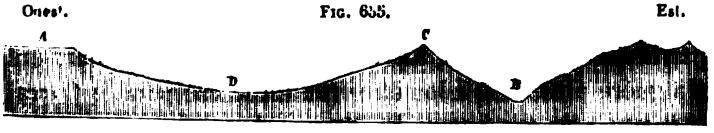


FIG. 655.

Coupe à travers la région centrale de Madère, de l'Est à l'Ouest.
A. Portion du plateau appelé le *Paul da Serra*. — B. Curral ; vallée de 90 mètres de profondeur. — C. Pico-Grande. — D. Vallée de la Serra d'Agoa.

800 mètres de haut, et de pics plus élevés encore. Quelques auteurs l'ont comparée à un cratère ou caldera, par la raison que sa portion supérieure est située dans la région où abondent les éjections et les dykes. Le Curral, toutefois, s'étend, sans diminuer de profondeur, au delà de cette région, et il laisse voir très distinctement tous les lits qui le composent (R, *s*, fig. 653, t. II, p. 302). Les masses volcaniques dont il est formé ne plongent pas non plus, en dehors, dans toutes les directions à partir de Curral comme d'un point central ou de l'axe creux d'un cône. Le Curral n'est, en fait, que

l'une des trois grandes vallées qui rayonnent du district le plus montueux ; une seconde dépression appelée la Terra d'Agoa (D, fig. 655) est presque aussi profonde ; une rivière la parcourt du Nord au Sud ; une troisième vallée, celle de la Janella, envoie ses eaux vers le Nord. La coupe que nous avons donnée (fig. 655), et qui passe à travers une portion de l'axe de l'île, dans la direction E. et O, montre comment le Curral et la Terra d'Agoa, B et D, sont séparés par une crête étroite et élevée C, d'un point de laquelle s'élance à près de 1,645 mètres le Pico-Grande. Il n'y a pas de différence essentielle de forme entre ces trois grandes vallées et plusieurs de celles qui, dans les Alpes et les Pyrénées, n'ont eu de rapport avec aucune action volcanique.

Dans les Alpes, comme en d'autres chaînes élevées, la formation des vallées a sans doute été favorisée par les mouvements souterrains, graduels ou brusques, et par la dislocation des roches. On peut en dire autant de Madère et de presque toute région volcanique qui atteint une grande élévation ; mais si l'on songe que les hauteurs centrales (A et B, fig. 653) atteignent plus de 1,800 mètres au-dessus du niveau de l'Océan, et que les eaux qui en découlent, gonflées par la fonte des neiges, arrivent à la mer après un cours qui n'a guère plus de 9 kilomètres (tel est le cas pour le Curral et à peu près aussi pour la Terra d'Agoa), on comprendra que toute quantité de dénudation puisse se produire simplement par érosion à l'air.

L'absence générale de cailloux usés par les eaux, dans les tuffs que surmontent les laves, à Madère, est très frappante, et contraste avec la présence fréquente de lits de gravier au-dessous d'un si grand nombre de coulées en Auvergne. Elle prouve que Madère, de même que les montagnes volcaniques de Java, ou le mont Etna, ou bien encore le Mona Loa, dans les îles Sandwich, n'ont pu, par plusieurs raisons que nous avons expliquées précédemment, avoir un seul torrent à leur surface tant que les éruptions ont été fréquentes sur leurs pentes. Par conséquent, la période d'érosion

fluviale a dû suivre la formation du noyau central d'éjection *c* (fig. 653, t. II, p. 302) et des laves *d* (*ibid.*). Si l'on admet que ces laves sont d'origine supra-marine jusqu'à un niveau aussi bas que celui marqué par la ligne *p*, *s*, *t*, et peut-être plus bas encore, il faudra bien conclure aussi qu'une île de plus de 1,220 mètres de hauteur s'est formée sans qu'aucun soulèvement n'ait eu lieu.

Les mouvements qui ont élevé les dépôts marins de San-Vicente se sont limités à un court espace ou développés sur une large étendue. Mais jusqu'à quel degré ont-ils modifié la forme de l'île, ou ajouté à sa hauteur? jusqu'à quel point aussi faut-il attribuer à ces mouvements la forte inclinaison des laves qu'on aperçoit dans les ravins contre les flancs de la montagne *fh* et *eg* ? On peut supposer que les laves de date plus moderne, près de Funchal, sont restées relativement horizontales, parce qu'elles ont échappé à l'action des forces perturbatrices auxquelles le noyau, plus ancien, fut exposé. Sans vouloir discuter ici ce sujet (dont j'ai traité si complétement à l'occasion de Palma), j'observerai que très certainement différentes parties de Madère ont été formées successivement. Près de Porto da Cruz, par exemple, sur la côte septentrionale, on rencontre des trachytes d'une teinte grise, et des tuffs trachytiques presque de couleur blanche, en lits légèrement inclinés ou presque horizontaux, qui ont comblé en partie des vallées profondes creusées antérieurement dans les roches basaltiques plus anciennes; ces dernières roches sont inclinées vers le Nord sous un angle de 10 degrés, et recouvrent le lit à feuilles ainsi que le lignite précédemment signalés (fig. 653, t. II, p. 302). Durant les convulsions qui accompagnèrent la sortie de chaque nouvelle série de laves, les roches plus anciennes furent plus ou moins disloquées et inclinées, sans que pour cela ait été détruite la forme générale de l'ancien dôme, que nous avons supposé avoir été le résultat d'éruptions réitérées provenant des soupiraux du centre.

La localité de Porto da Cruz fournit un magnifique exemple

non-seulement des longs intervalles de temps qui ont séparé les sorties de nappes distinctes de lave, mais aussi de l'antériorité des éruptions basaltiques aux coulées trachytiques. J'ai vu aussi un cas de ce genre sur le versant Sud de Madère: entre le Jardim et le Pico-Bodes, à la distance directe de 9 kilomètres environ Nord-Ouest de Funchal, existe une série parfaitement nette de roches trachytiques, d'une épaisseur considérable, et occupant le point géologique le plus élevé. Cette série consiste en trachytes blancs et gris qui se montrent à des hauteurs variables de 760 à 1,150 mètres au-dessus du niveau de la mer. On explique leur position en admettant que ce sont les lits les plus supérieurs représentés en *h* dans la coupe (fig. 653, t. II, p. 302), et sur la pente au-dessus de *h*. L'hypothèse d'après laquelle, à chaque série d'éruptions volcaniques, les laves trachytiques auraient coulé en premier, puis auraient été suivies des nappes basaltiques (voy. t. II, p. 317), n'est donc point justifiée à Madère, bien que quelques-unes des coulées les plus modernes, comme celles du pied des cônes (M, N, O, fig. 653), y soient basaltiques.

Je dois retracer ici un autre trait de la structure de Madère : généralement, la plus supérieure des roches volcaniques, à la hauteur maximum de 365 mètres au-dessus de la mer, est un trapp compacte, feldspathique, contenant beaucoup d'olivine, et se séparant en masses sphéroïdales de plusieurs décimètres de diamètre, surtout lorsqu'une portion du fer s'est suroxydée à l'atmosphère. M. Delesse, qui connaît mes échantillons, me dit qu'en France on prendrait la roche pour un basalte, bien qu'elle soit souvent dépourvue d'augite, et résulte simplement d'un mélange de feldspath vert-noirâtre et d'olivine. Quel que soit le nom qu'on lui donne, on peut dire que l'enveloppe superficielle de l'île, non-seulement suivant la ligne de coupe (fig. 653, t. II, p. 302), mais sur une surface beaucoup plus générale, est formée de ce trapp, excepté près de la mer, où se rencontrent des basaltes qui n'ont point la même structure sphéroïdale.

Comme indication d'une différence d'âge considérable, même dans les formations volcaniques superficielles de Madère, je ferai la remarque que plusieurs des pics centraux, par exemple A (fig. 653), ne semblent être que des squelettes de cônes d'éruption ; tandis que les formes des cônes plus modernes M, N, O, sont régulières, et aucuns dykes ne font saillie sur leurs sommets ou sur leurs flancs. Les laves les plus récentes ont aussi, à Madère, dans une localité au moins, un aspect particulièrement récent, comparées aux plus anciennes, lesquelles sont souvent décomposées à la surface et jusqu'à la profondeur de plusieurs mètres. Voyez

FIG. 656. — Surface de la lave, près de Port Moniz, pointe N. O. de Madère ; d'après un dessin de M. Hartung.
a. Un lit de ruisseau à travers la lave.

les courants de lave que l'on observe près de Port-Moniz : l'un d'eux est hérissé d'aspérités, comme le sont certaines coulées de Palma qui datent des temps historiques. Je dois au crayon de M. Hartung le dessin suivant d'une lave de Port-Moniz que je n'ai point visité moi-même. Elle est traversée par un ancien lit de torrent *a*, comme j'en ai déjà décrit des exemples ailleurs. Pendant combien de temps peuvent se maintenir de tels caractères de structure? je l'ignore ; la durée doit être dépendante de la composition minérale de la roche. Quelques-unes des laves d'Auvergne, de date anté-historique, et certainement de la plus haute antiquité, sont couvertes d'inégalités presque aussi prononcées ; cet aspect de conservation indique seulement, avec probabilité, une origine comparativement moderne.

CHAPITRE XXX.

SUR LES DIFFÉRENTS AGES DES ROCHES VOLCANIQUES.

Caractères pour établir l'âge relatif des roches volcaniques. — Caractère de la superposition et de l'intrusion. — Dyke de Quarrington Hill, Durham. — Caractère de l'altération des roches au contact d'autres roches. — Caractère fourni par les débris organiques. — Caractère minéralogique. — Caractère des fragments enclavés. — Roches volcaniques de la période Post-Pliocène. — Basalte de la baie de Trezza en Sicile. — Roches volcaniques Post-Pliocènes des environs de Naples. — Dykes de la Somma. — Formations ignées de la période du Nouveau-Pliocène. — Val di Noto en Sicile.

J'ai rapporté les couches sédimentaires à une longue succession de périodes géologiques; je dois maintenant chercher jusqu'à quel point les formations volcaniques peuvent être classées dans un ordre chronologique semblable. Les caractères de l'âge relatif de cette classe de roches sont au nombre de quatre : 1° la superposition et l'intrusion, avec ou sans altération des roches au contact; 2° les débris organiques; 3° la nature minéralogique; 4° les fragments enclavés de roches plus anciennes.

Caractère de la superposition, etc. — Lorsqu'une roche volcanique repose sur un dépôt aqueux, on doit en conclure qu'elle est plus nouvelle que ce dépôt; mais la règle ne saurait être applicable si c'est la formation aqueuse qui sur-

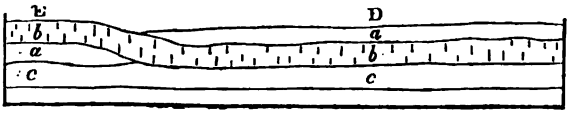


Fig. 657.

monte la formation volcanique, car une matière en fusion, arrivant de bas en haut, a pu pénétrer au sein d'une masse sédimentaire sans en atteindre la surface, ou bien se forcer un passage entre deux couches, telles que *b* et D

(fig. 657), ensuite se refroidir et se consolider, sans produire aucune discordance de stratification. La superposition n'a donc pas autant de valeur, comme caractère d'âge, pour les roches volcaniques non stratifiées que pour les formations fossilifères. On ne doit avoir recours à ce caractère que lorsque les premières de ces roches sont contemporaines, et non lorsqu'elles sont des produits d'intrusion. Or, on les appelle contemporaines quand elles ont été engendrées par l'action volcanique simultanément avec les couches aqueuses qui leur sont associées. Par exemple, dans la coupe, en D (fig. 656), on peut à peu près affirmer que le trapp *b* a coulé sur le lit fossilifère *c*, et que, après sa consolidation, *a* s'est déposé à son tour sur le trapp, *a* et *c* appartenant tous deux à la même période géologique. Mais si la couche *a* était altérée par *b* au point de contact, nous devrions en conclure que le trapp s'est introduit après coup; il en serait de même si, en poursuivant *b* à quelque distance, on découvrait à la fin qu'il coupe la couche *a* et la recouvre ensuite comme en E.

On risque néanmoins beaucoup de confondre une roche volcanique d'intrusion avec une roche contemporaine; car une coulée de lave qui se répand sur le fond de la mer ne recouvre pas partout la même couche, soit parce que celle-ci a été dénudée par places, soit parce que, nouvellement formée, elle s'amincit sur certains points, ce qui permet à la lave de croiser sur ses bords. De plus, le fluide igné, en coulant sur la surface, ne manque pas de se creuser, par l'effet de sa pesanteur, un lit au travers du limon mou et du sable. Supposons que la lave sous-marine F (fig. 658) soit arrivée de cette manière au contact des couches *a*, *b*, *c*, et, qu'après sa consolidation, les lits *d*, *e* s'y soient déposés dans un sens presque horizontal, de manière toutefois à être discordants avec F, l'apparence d'une intrusion subséquente sera com-

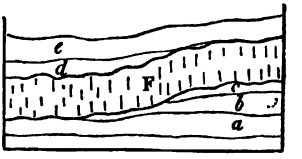


FIG. 658.

plète, bien que le trapp soit en réalité contemporain. Il ne faut donc point se hâter de conclure que la roche F est d'intrusion, à moins que l'on ne découvre que les couches *d*, *e* ou *c* ont été altérées par la chaleur au point de jonction.

En décrivant les dykes de trapp, dans le chapitre précédent, nous avons démontré qu'ils étaient plus modernes que toutes les couches qu'ils traversent. A Quarrington Hill, près de Durham, un dyke basaltique coupe un terrain houiller dont les couches sont inclinées et séparées par une faille tellement prononcée que, du côté Nord du dyke, ces couches sont à 7 mètres au-dessous du niveau des lits correspondants du côté Sud (fig. 659). Quant aux assises horizontales du Grès Rouge et du Calcaire Magnésien, elles gisent

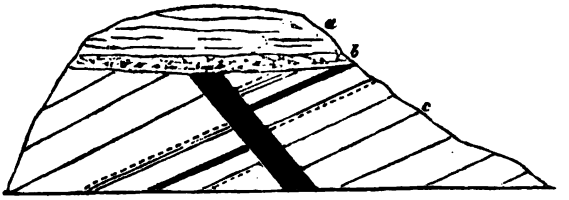


Fig. 659. — Coupe de Quarrington Hill, Est de Durham. (Sedgwick.)

a. Calcaire Magnésien (Permien). — *b*. Nouveau Grès Rouge Inférieur. — *c*. Couches Houillères.

au-dessus, et ne sont point traversées par la roche éruptive. Or, ici, les couches houillères non-seulement étaient déposées, mais encore avaient été ultérieurement disloquées, fendues et écartées avant que le fluide trappéen se fût introduit dans la solution de continuité pour y former le dyke. Il est clair aussi que quelques lambeaux supérieurs du dépôt houiller, et en même temps certaines portions supérieures de la masse injectée, furent enlevés par la dénudation avant que le Nouveau Grès Rouge et le Calcaire Magnésien leur eussent été superposés. A quelle époque cet événement eut-il lieu? On ne saurait le dire avec précision, bien que la date de l'éruption volcanique ne doive être cherchée dans de bien larges limites. Cet événement a peut-être daté de la fin de la période Car-

bonifère ou d'une époque moins reculée, par exemple de celle du Nouveau Grès Rouge Inférieur, ou bien enfin d'une période intermédiaire aux deux précédentes, pendant laquelle l'état de la création animée et la géographie physique de l'Europe étaient en voie de passer du type Carbonifère au type Permien.

Le caractère de l'âge, fourni par la superposition, s'applique essentiellement à tout tuff volcanique stratifié, suivant la règle que nous avons déjà posée pour les dépôts sédimentaires (voy. t. I, p. 157).

Caractère de l'âge, fourni par les débris organiques. — Nous avons vu comment, dans le voisinage de volcans en activité, des scories, des cendres, du sable fin et des fragments de roches lancés dans l'atmosphère, retombaient en pluie sur le sol ou dans les lacs ou bien dans les mers voisines. Au sein des tuffs ainsi formés on rencontre des coraux, des coquilles ou tous autres corps organiques durables que l'événement a surpris soit sur le fond d'un lac, soit sur celui d'une mer, et ces corps nous servent de témoignages permanents pour rappeler la période à laquelle appartient l'éruption volcanique. Des couches tuffacées, formées de cette manière aux environs du Vésuve, de l'Etna, de Stromboli et d'autres volcans en activité, dans les îles ou près des côtes, fourniront des indications sur leur âge relatif à l'époque plus ou moins éloignée où les feux de ces monts volcaniques seront éteints. C'est par des faits de ce genre que le géologue établit des coïncidences d'âge entre les roches volcaniques et les différentes couches fossilifères primaires, secondaires et tertiaires.

Les tuffs dont il est ici question peuvent ne pas être toujours marins; ils renferment sur tel point des coquilles d'eau douce, et sur tel autre des ossements de quadrupèdes terrestres. La diversité des débris organiques distribués à travers ces formations se comprend facilement, si l'on réfléchit à la large dispersion de la matière vomie lors des dernières éruptions, par exemple à celle du volcan de Coseguina

dans la province de Nicaragua (19 janvier 1835). Des cendres chaudes et des scories fines furent lancées à une immense hauteur ; elles recouvrirent le sol environnant sur une épaisseur de plus de 3 mètres, et sur un rayon de 32 kilomètres à partir du cratère, dans une direction Sud. Des oiseaux, des animaux domestiques et des bêtes sauvages, en grand nombre, furent frappés de mort et ensevelis dans la cendre. Quelques débris volcaniques tombèrent même jusqu'à Chiapa, à plus de 1,700 kilomètres, et cela, non point dans la direction du vent, comme on aurait pu l'imaginer, mais à l'opposé de cette direction, preuve évidente qu'un contre-courant exista alors dans la région supérieure de l'atmosphère ; il tomba également une certaine quantité de cendres à la Jamaïque, à une distance de plus de 1,000 kilomètres au Nord-Est. En pleine mer aussi, à plus de 1,600 kilomètres du point d'éruption, le capitaine Eden, du Conway, rapporte qu'il navigua sur une longueur de passé 60 kilomètres à travers de la ponce flottante dont quelques morceaux étaient d'une grosseur considérable (1).

Caractère de l'âge, fourni par la composition minérale. — De même qu'un sédiment de composition homogène peut, en se déchargeant à l'embouchure d'une large rivière, se déposer sur une surface considérable, de même aussi telle variété particulière de lave coulant d'un cratère pendant une éruption s'étalera parfois sur une vaste étendue. L'Islande en a fourni un exemple en 1783 : la matière fondue vomie par le Skaptar Jokul se précipita par flots dans des directions opposées, et donna naissance à une masse continue dont les points extrêmes étaient éloignés de 135 kilomètres l'un de l'autre. Cet énorme courant de lave se consolida sur une épaisseur de 30 à 180 mètres ; sa largeur variait de quelques centaines de mètres à 24 kilomètres (2). Or, si par la suite des temps, une pareille masse fût venue à se morceler, nous

(1) Caldeleugh, *Phil. Trans.*, 1836, p. 27.

(2) *Principes, etc.*, Index : Skaptar Jokul.

serions peut-être encore aujourd'hui à même de reconnaître l'identité des portions détachées, par leur ressemblance de composition minérale. Néanmoins ce caractère ne peut pas toujours servir au géologue ; car, bien que la lave produite pendant une même éruption, et même les coulées successives d'un seul volcan offrent habituellement un caractère dominant, quelquefois cependant différentes portions d'un seul courant de lave ou d'une masse continue de trapp varient sensiblement par la composition et par la structure minérales.

En Auvergne, dans l'Eifel et autres pays où se rencontrent à la fois le trachyte et le basalte, la première de ces roches est presque toujours plus ancienne que la dernière ; mais les deux alternent quelquefois partiellement dans le volcan du mont Dor ; nous avons vu d'autre part qu'à Madère les roches trachytiques recouvraient une série basaltique plus ancienne (t. II, p. 310). Cependant, la majeure partie des trachytes occupe une position inférieure ou se trouve coupée et recouverte par le basalte. Il ne faut pas néanmoins conclure de cette circonstance que le trachyte a prédominé à une certaine époque de l'histoire de la terre, et le basalte à une autre époque, car nous savons que les laves trachytiques appartiennent à plusieurs périodes successives, et que même il en sort encore aujourd'hui de plusieurs cratères en activité ; mais, dans toute localité où sont survenues de longues séries d'éruptions, les laves plus feldspathiques paraissent avoir été vomies les premières, et les plus augitiques ne sont venues qu'ensuite. L'hypothèse imaginée par M. Scrope fournit peut-être une solution satisfaisante de ce problème. Suivant l'habile observateur, les minéraux qui abondent dans le basalte ont une pesanteur spécifique plus considérable que ceux qui composent les laves feldspathiques : ainsi le hornblende, l'augite et l'olivine ont chacun trois fois le poids de l'eau, tandis que le feldspath commun, l'albite et le labrador ont à peine deux fois et demie ce poids ; la différence est plus considérable encore

lorsque ces minéraux sont en roche, car le basalte et le greenstone contiennent beaucoup plus de fer à l'état métallique que le trachyte et les autres laves feldspathiques, ou les roches trappéennes. Si, par conséquent, une masse considérable de roches vient à fondre dans les entrailles de la terre, sous l'influence de la chaleur volcanique, les éléments les plus denses du fluide bouillant descendront au fond, et les plus légers viendront à la surface pour être les premiers lancés dans l'atmosphère par la force d'expansion des gaz, et les matières qui occuperont le niveau le plus inférieur dans le bain souterrain en sortiront les dernières pour venir occuper la place supérieure, à l'extérieur de la croûte terrestre.

Caractère fourni par les fragments enclavés. — On peut quelquefois déterminer l'âge relatif de deux roches trappéennes, ou celui d'un dépôt aqueux et d'un trapp sur lequel il repose, par la rencontre de fragments de l'une de ces roches dans l'autre, et cela, dans les cas surtout où la superposition serait insuffisante. Il n'est pas rare aussi d'observer un conglomérat composé presque exclusivement de cailloux roulés de trapp, associé à quelque formation stratifiée fossilifère dans le voisinage de la masse trappéenne. Si les cailloux se rapportent en général pour le caractère minéral à cette dernière roche, on peut établir son âge relatif par la connaissance de l'époque où ont été formées les couches fossilifères associées au conglomérat. Des identifications de ce genre ont été faites par l'observation directe de berges composées de cailloux de trapp au pied d'îles volcaniques modernes, par exemple à la base de l'Etna.

Période Post-Pliocène (y compris la période Récente). — Choisissons maintenant des exemples de roches volcaniques appartenant à des périodes géologiques successives, pour démontrer que les causes ignées n'ont cessé à aucune des époques anciennes du globe, et qu'elles ont disloqué les masses partout où elles ont vomi leurs produits.

Une partie des laves, tuffs et dykes trappéens de l'Etna,

du Vésuve et d'Ischia, date de l'ère historique; une autre partie, de beaucoup la plus considérable, est sortie des abîmes de la terre à une époque immédiatement antérieure pendant laquelle les eaux de la Méditerranée étaient déjà peuplées des espèces actuelles de testacés. Les flancs de l'Etna, au Sud et à l'Est, sont bordés de dépôts sédimentaires et volcaniques d'origine sous-marine qui alternent entre eux, par exemple à Trezza, Aderno et autres endroits. Sur soixante-cinq espèces de coquilles fossiles que j'ai recueillies, en 1828, près de Trezza, au sein de cette formation, il ne m'a pas été possible d'en distinguer une seule qui vive actuellement dans la mer voisine.

Les îles Cyclopes, que les Siciliens appellent Isole Dei Faraglioni, et dont les falaises, au bord de la mer, font voir des couches d'argile, de tuff et de lave, sont situées dans la baie de Trezza; on peut les regarder comme l'extrémité d'un promontoire séparé de la terre principale; elles fournissent

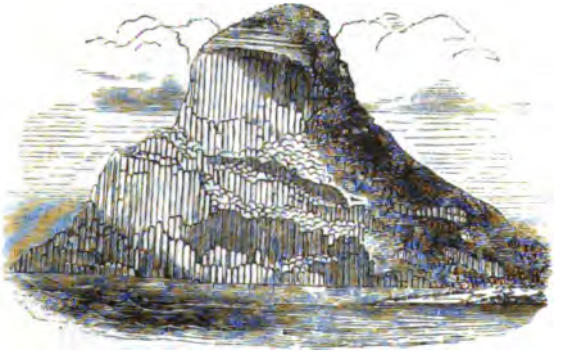


FIG. 660. — Vue de l'île des Cyclopes dans la baie de Trezza (1).

de nombreuses preuves d'éruptions sous-marines qui auraient envahi ou traversé les couches argileuses, et produit les brèches tuffacées. Celles-ci contiennent un grand nombre de frag-

(1) Cette vue de l'île des Cyclopes a été gravée d'après un dessin original de mon ami feu le capitaine Basil Hall, de la Marine Royale.

ments anguleux et endurcis d'argile feuilletée, à divers états d'altération produite par la chaleur, et entremêlés de sable volcanique.

La plus élevée des petites îles, ou plutôt des rochers des Cyclopes, a 60 mètres environ de haut; le sommet en est formé d'une masse d'argile stratifiée dont les feuillets sont parfois séparés par de minces bandes arénacées. Les couches plongent au Nord-Ouest, et reposent sur une masse de lave colonnaire (fig. 660) dans laquelle les sommets des piliers sont usés et arrondis souvent jusqu'à être hémisphériques. Sur quelques points, dans l'île plus grande voisine, appartenant au même groupe, et qui se trouve vers le Nord-Est de celle que représente notre dessin (fig. 660), l'argile sus-

Fig. 661. — Contorsion de couches dans la plus grande des îles Cyclopes.

jacente a été profondément altérée et endurcie par la roche ignée; parfois aussi elle a été contournée de la manière la

plus bizarre ; cependant la disposition feuilletée non-seulement est restée intacte, mais encore s'est accentuée de plus en plus par l'endurcissement.

La coupe (fig. 661) représente une portion de la roche altérée, de quelques décimètres carrés; les feuillets minces et alternants de sable et d'argile ont revêtu la structure que l'on observe souvent dans quelques-uns des schistes métamorphiques les plus contournés.

Une vaste solution de continuité dirigée en longueur de l'Est à l'Ouest divise l'île la plus grande à peu près en deux parties égales, et montre distinctement sa structure intérieure. Dans la coupe ci-contre, on voit un dyke de lave qui, après avoir traversé une autre masse de lave plus ancienne, a pénétré dans les couches tertiaires sous-jacentes. Sur un point, la roche lavique se ramifie et se termine en veines d'une épaisseur de quelques millimètres seulement à plusieurs décimètres (fig. 662).

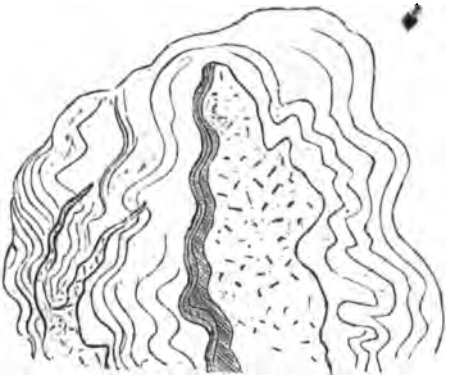


FIG. 662. — Couches Post-Pliocènes envahies par la lave, île des Cyclopes (coupe horiz.)
a. Lave. — *b*. Argile feuilletée et sable. — *c*. Les mêmes roches altérées.

Les feuillets arénacés sont beaucoup plus durs au point de contact, et les argiles ont été converties en schiste siliceux. Dans cette île, les roches altérées revêtent une sorte

de structure analogue à celle de rayons de miel; cette structure contraste singulièrement avec le contour uni et égal que les mêmes lits présentent à leur état habituel de faible consistance.

Les pores de la lave sont quelquefois tapissés ou même entièrement remplis de carbonate de chaux et d'un zéolite ressemblant à l'analcime, auquel on a donné le nom de Cyclopite. Ce minéral se rencontre aussi tapissant de petites fissures au travers de la marne altérée, preuve que les mêmes causes, quelles qu'elles soient, sublimation ou infiltration aqueuse, qui ont introduit les minéraux dans les cavités de la lave, ont aussi injecté les mêmes matières, dans les fissures béantes des couches sédimentaires contiguës.

Formations Post-Pliocènes des environs de Naples. — J'ai raconté, dans les *Principes de Géologie*, l'histoire des changements que la région volcanique de la Campania a subis, comme tout le monde sait, pendant ces deux derniers mille ans. L'effet d'accumulation produit par les opérations ignées durant cette période ne laisse pas que d'être considérable : il comprend la formation du cône moderne du Vésuve, qui date de l'an 79, et la production de plusieurs petits cônes à Ischia, en même temps que celle du Monte-Nuovo, en 1538. Des courants de lave arrivant à la surface du sol ou sur le fond de l'Océan, du sable volcanique, de la ponce, des scories lancés dans l'atmosphère pour retomber à terre, avec une abondance telle que des cités entières ont été ensevelies, de vastes étendues de la mer comblées ou converties en écueils, un sédiment tuffacé transporté par les rivières et les inondations à la mer, — ne sont-ce pas là des preuves que, durant une seule et même période récente, ont eu lieu des oscillations permanentes des niveaux relatifs de la terre et des eaux, et cela, sur plusieurs points à la fois de la surface totale, ou même sur un point unique : par exemple, à Puzzuoli, n'a-t-on pas constaté des élévations et des abaissements de plus de 6 mètres? On observe aujourd'hui, se rapportant à ces convulsions, sur les bords de la baie des Baiæ, des couches tuf-

facées récentes remplies d'objets fabriqués de main d'homme, et mêlées de coquilles marines.

Nous avons dit aussi (t. I, p. 191) que, lorsqu'on examine avec attention le pays, on ne tarde pas à s'apercevoir qu'il se compose en majeure partie de couches tuffacées de date antérieure à l'histoire ou à la tradition; ces couches ont une puissance telle qu'elles constituent des monts de 500 à plus de 610 mètres de haut, d'âge Post-Pliocène; elles contiennent des coquilles marines récentes, et alternent avec des coulées distinctes ou nappes de lave de formation contemporaine. Au Vésuve lui-même, l'ancien cône appelé Somma a des dimensions plus considérables que le cône plus récent, et se trouve traversé par un grand nombre de dykes. En comparant cette ancienne portion du volcan avec celle de date moderne, on observe un point principal de différence : savoir la plus grande fréquence, dans l'ancien cône, de fragments de roches sédimentaires altérées, rejetées pendant les éruptions. On conçoit facilement que les premières éjections aient agi avec la plus grande violence, brisant et lançant à l'air tout ce qui s'opposait à l'issue de la lave et des gaz qui l'accompagnaient, de telle sorte que d'énormes amas de fragments de roches rejetées doivent se rencontrer partout où existent des brèches tuffacées formées par les plus anciennes éruptions. Mais, une fois le passage ouvert et un soupirail ordinaire établi, les matériaux repoussés n'ont plus consisté qu'en lave liquide ; celle-ci a pris ensuite la forme de sable et de scories, ou de fragments angulaires résultant d'une rupture de la lave solide, de n'importe quelle nature, qui bouchait précédemment l'issue.

Parmi les fragments qui abondent au sein des brèches tuffacées de la Somma, les plus communs sont ceux de dolomie saccharoïde ; on suppose que cette dernière roche a été formée aux dépens d'un calcaire ordinaire altéré par la chaleur et les vapeurs volcaniques.

Le carbonate de chaux entre dans la composition d'un si grand nombre de minéraux simples, à la Somma, que

M. Mitscherlich attribue, et, suivant nous, avec beaucoup de raison, leurs nombreuses variétés à l'action de la chaleur volcanique qui s'est exercée sur les masses calcaires sous-jacentes.

Dykes de la Somma. — Les dykes que l'on voit dans le grand escarpement de la Somma, vers le cône moderne du Vésuve, sont très nombreux. La plupart d'entre eux sont verticaux, et traversent à angle droit les lits de lave, de scories, de brèche volcanique et de sable dont l'ancien cône se compose. Ils font saillie de plusieurs centimètres, ou même parfois de quelques décimètres, à la surface escarpée du rocher ; ils sont extrêmement compactes, et moins sujets à la destruction que les tuffs et laves poreuses qu'ils traversent. Leur longueur varie depuis quelques mètres à 150 mètres, et leur largeur, de $0^m,30$ à $3^m,65$. Certains d'entre eux coupent toute la série des lits inclinés dans l'escarpement de la Somma, depuis son sommet jusqu'à sa base ; d'autres s'arrêtent court à moitié chemin, et quelques-uns font voir leurs deux extrémités. Par leur composition minérale, ils diffèrent peu des laves de la Somma ; c'est une pâte de leucite (amphigène) et d'augite, à travers laquelle sont disséminés de gros cristaux de ce dernier minéral, et quelques-uns de leucite (1). Il n'est pas rare de rencontrer un dyke coupant un autre dyke, et, sur le point particulier d'intersection, on aperçoit une faille ou glissement.

Dans quelques circonstances, cependant, les fentes semblent avoir été remplies par le côté ; les parois du cratère se sont crevassées sous forme d'étoile (se sont étoilées autrement dit), comme on le voit (fig. 663). Mais cette forme de fendillement est une exception à la règle générale, car rien n'est plus remarquable que le parallélisme ordinaire des deux parois d'un dyke : il est presque aussi régulier que celui des deux pans opposés d'un mur en maçonnerie. Ce

(1) L. A. Necker, *Mém. de la Soc. de Physiologie et d'Histoire naturelle de Genève*, t. II, part. 1, nov. 1822.

caractère paraît d'abord des plus inexplicables, surtout si l'on songe aux inégalités et dentelures des crevasses produites par les tremblements de terre au sein de masses d'une composition aussi hétérogène que celles constituant

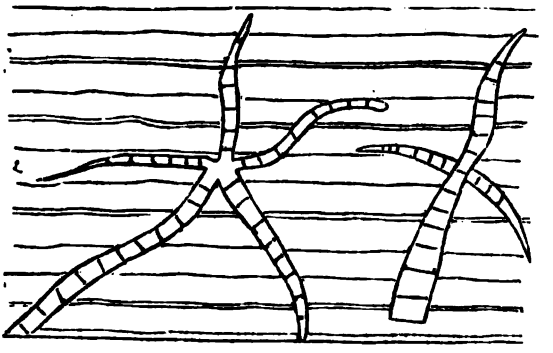


FIG. 663. — Dykes ou veines à Punto del Nasone, Somma (Necker) (1).

le cône de la Somma. Pour expliquer ce phénomène, M. Necker rappelle le récit qu'a fait Sir W. Hamilton d'une éruption survenue au Vésuve en 1779 : « Les laves, soit qu'elles fussent en ébullition sur le cratère, soit qu'elles s'échappassent des parties coniques du volcan, se creusaient constamment, au bas de la partie abrupte de la montagne, des canaux aussi réguliers que s'ils eussent été produits par la main de l'homme ; et, pendant qu'elles étaient encore à un état de complète fusion, elles continuaient leur cours le long de ces conduits qui, quelquefois, étaient ainsi remplis jusque vers le bord, et d'autres fois l'étaient plus ou moins, suivant la quantité de matière en mouvement.

» Les canaux, lorsqu'on les examinait après une éruption, avaient en général, comme je l'ai constaté moi-même, de $0^m,60$ à $1^m,50$ ou 2 mètres de large, et de $2^m,35$ à $2^m,70$ de profondeur. Ils étaient souvent cachés à la vue par une

(1) D'après un dessin de M. Necker, dans le Mémoire cité ci-dessus.

quantité de scories formant une croûte à la surface ; et la lave, après avoir continué son cours, à chemin couvert, sur une longueur de quelques mètres, pénétrait pour se refroidir de nouveau dans un conduit ouvert. Il m'est arrivé, après une éruption, de marcher dans ces galeries souterraines et couvertes, excessivement curieuses : les parois latérales, le plancher et le plafond étaient *parfaitement lisses et nivelés* presque partout ; ils avaient été laissés à cet état par la violence des courants de lave incandescente qui les avaient parcourus pendant plusieurs semaines consécutives (1). »

Or, les parois de la fissure verticale par laquelle est montée la lave pour atteindre au soupirail volcanique ont dû être exposées à la même érosion que les canaux dont il vient d'être question. Le frottement prolongé et uniforme du lourd fluide obligé de s'élever n'a pas manqué de niveler et polir le fond sur lequel il s'est exercé ; de plus, la chaleur intense a dû fondre les masses qui se projetaient et obstruaient son passage.

La texture des dykes, au Vésuve, n'est pas la même sur les bords que vers le centre. Au centre, observe M. Necker, la roche est à plus gros grains, les éléments constituants montrent un état plus cristallin ; tandis que vers le bord la lave est quelquefois vitreuse, et toujours à grains plus fins. Une bande mince de partage, qui, par son caractère, ressemble au pechstein, se rencontre quelquefois au contact du dyke vertical et des couches qu'il a coupées. M. Necker cite une de ces bandes, à l'endroit appelé Primo-Monte, dans l'Atrio del Cavallo ; lorsque je visitai la Somma, en 1828, j'en vis trois ou quatre autres en différents points du grand escarpement. Ces phénomènes sont en parfaite harmonie avec les résultats des expériences de Sir James Hall et de M. Gregory Watt : ils indiquent qu'une texture vitreuse est l'effet d'un refroidissement subit, tandis qu'au contraire un grain cristallin

(1) *Phil. Trans.*, vol. LXX, 1780.

s'est produit lorsque les minéraux en fusion ont pu se consolider lentement et tranquillement sous une haute pression.

Il est évident que la partie centrale d'une lave en voie de se solidifier dans une fissure perd sa chaleur plus lentement que les côtés ; cependant la différence n'est pas aussi sensible, proportionnellement, qu'entre le fond et la surface d'une lave qui coule à ciel ouvert. Dans ce dernier cas, la partie la plus supérieure est invariablement scoriforme, vitreuse et poreuse sur tous les points où elle s'est trouvée en contact avec l'atmosphère, et où le refroidissement a été plus rapide ; au contraire, à une profondeur plus grande, la masse présente une structure plus lithoïde, et devient de plus en plus pierreuse à mesure que l'on descend, jusqu'à ce qu'enfin on arrive à reconnaître, au moyen d'un verre grossissant, les minéraux simples dont la roche est composée. En l'examinant plus bas encore, on va jusqu'à découvrir à l'œil nu ses diverses parties constituantes, et, dans les coulées du Vésuve, à distinguer des cristaux d'augite et de leucite.

On peut facilement, dit M. Necker, observer le même phénomène, quoique sur une plus petite échelle, dans un fragment que l'on détache de la lave liquide d'une coulée en mouvement. Le fragment se refroidit instantanément, et la surface se recouvre d'une enveloppe vitreuse, tandis que l'intérieur, à grain extrêmement fin, prend un aspect plus pierreux.

Il faut remarquer, toutefois, que la bande vitreuse de départ dont nous venons de parler est rare au Vésuve, bien que les portions latérales des dykes y soient à grain plus fin que la portion centrale. On se rendra compte peut-être de ces faits, comme l'auteur, du reste, que nous venons de citer le pense lui-même, par la chaleur élevée que les parois de la fissure ont acquise avant que la masse fluide ait commencé à se consolider ; car, dans de tels cas, la lave doit se refroidir très lentement, même sur les côtés. Certaines fissures aussi se remplissent par en haut ; cela arrive fréquemment dans les volcans des îles Sandwich, suivant

les observations de M. Dana, et alors le refroidissement sur les côtés doit être plus rapide que lorsque la matière fondue monte du foyer volcanique, douée d'une température excessive. M. Darwin m'apprend qu'à Sainte-Hélène presque tous les dykes ont les bords vitreux.

La roche qui constitue les dykes dans la portion ancienne comme dans la masse moderne du Vésuve est beaucoup plus compacte que la lave commune, car la pression d'une colonne de matière fondue remplissant une fente dépasse de beaucoup celle d'un courant ordinaire de lave, et cette pression chasse les gaz qui donnent lieu aux cellules.

Presque tous les dykes du Vésuve montrent une tendance à se diviser en prismes horizontaux, phénomène qui s'accorde avec la formation des colonnes verticales au travers des lits horizontaux de lave; car, dans les deux cas, les divisions qui donnent naissance à la structure prismatique sont perpendiculaires aux surfaces de refroidissement.

Période du Nouveau Pliocène. — Val di Noto. — J'ai déjà parlé (t. I, p. 252) des roches ignées associées à une grande formation marine de calcaire, sable et marne, dans la partie méridionale de la Sicile, à Vizzini en particulier, et en d'autres endroits. Au sein de cette formation, qui appartient, comme nous l'avons fait voir, à la période du Nouveau Pliocène, des lits épais d'huîtres et de coraux reposent sur la lave, et ne sont nullement altérés au point de contact. En d'autres localités, on observe des dykes de roches ignées qui coupent les couches fossilifères, et ont transformé les argiles en un schiste siliceux dont les feuillets, au point de jonction, sont contournés et partagés en fragments innombrables : les environs de la ville de Vizzini fournissent un exemple de ce genre.

Les formations volcaniques du Val di Noto se composent habituellement de la variété la plus ordinaire de basalte, avec ou sans olivine. La roche est quelquefois compacte, souvent très celluleuse. Accidentellement les cellules sont vides, soit dans les dykes, soit dans les courants, et certaines

localités montrent des cas où ces cellules sont remplies de spath calcaire, d'arragonite et de zéolites. La structure de la masse est parfois sphéroïdale ; dans certaines circonstances, rares, il est vrai, elle est colonnaire. J'ai vu des dykes d'amygdaloïde, de wacke et de basalte prismatique coupant le calcaire, au fond de la cavité dite Gozzo degli Martiri, au-dessous de Melilli.

Dykes. — On remarque aussi des dykes de lave vésiculaire et amygdalaire traversant le tuff marin ou pépérino, à l'Ouest de Palagonia ; quelques-uns des pores de la lave sont vides, d'autres sont remplis de carbonate de chaux.

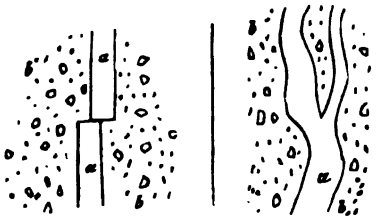


FIG. 664 et 665. — Plans de dykes près de Palagonia.

a. Lave. — *b*. Pépérino composé de sable volcanique mêlé de fragments de lave et de calcaire.

Dans de tels cas, on peut supposer que le pépérino est résulté de la chute de sable volcanique, de scories, et en même temps de fragments calcaires chassés par l'explosion sous-marine ; ce phénomène est semblable à celui qui a donné naissance à l'île Graham (île Julia), en 1831. Lorsque la masse se fut jusqu'à un certain point consolidée, une crevasse s'ouvrit, et la lave monta par des fissures dont les parois étaient parfaitement unies et parallèles. Après son refroidissement, la matière en fusion qui avait obstrué la solution de continuité (fig. 664) fut brisée et refoulée par un mouvement latéral.

Dans la seconde figure (fig. 665), la lave offre d'une manière bien plus tranchée encore l'apparence d'une veine qui se serait frayé un passage à travers le pépérino. Il est très

probable que nous observerions les mêmes accidents, si nous pouvions examiner le lit de la mer dans cette partie de la Méditerranée où les vagues ont récemment entraîné la nouvelle île volcanique ; en effet, dès qu'un amas de fragments a été emporté par la dénudation, on peut s'attendre à voir des coupes de dykes à travers le tuff, ou, en d'autres termes, des sections de canaux par lesquels la lave souterraine est parvenue à la surface.

CHAPITRE XXXI.

SUR LES DIFFÉRENTS AGES DES ROCHES VOLCANIQUES (*suite*).

Roches volcaniques de la période du Vieux Pliocène. — Toscane. — Rome. — Région volcanique d'Olot en Catalogne. — Cônes et courants de lave. — Ravins et anciens lits de gravier. — Jets d'air appelés Bufadors. — Age des volcans de la Catalogne. — Période Miocène. — Lignite de l'Eifel, et brèche trachytique contemporaine. — Age du lignite. — Caractères particuliers des volcans de l'Eifel Supérieur et Inférieur. — Cratères lacustres. — Trass. — Volcans de Hongrie.

Période du Vieux Pliocène. — Italie. — En Toscane, à Radicofani, Viterbo et Aquapendente, ainsi que dans la Campagna di Roma, on observe des tuffs volcaniques sous-marins interstratifiés avec les couches du Vieux Pliocène des collines Subapennines, et l'on ne saurait douter qu'elles soient résultées d'éruptions survenues à l'époque où les marnes coquillières et sables des collines précédentes étaient en voie de formation. J'ai adopté cette manière de voir (1) lors de mon voyage en Italie (1828), et en sa faveur militent les preuves qu'a données Sir R. Murchison (1850) de l'origine sous-marine des plus anciens volcans d'Italie (2). Ces roches sont parfaitement connues pour reposer en stratification concordante sur les marnes subapennines, et cela vers le Sud, jusqu'au Monte Mario, faubourgs de Rome. Quant à l'âge exact des dépôts de Monte Mario, on le connaît mieux aujourd'hui, grâce à une étude approfondie des coquilles marines fossiles de ces dépôts, par MM. Rayneval, Vanden Hecke et Ponza. Ces auteurs ont comparé plus de 160 espèces (3) aux coquilles du Crag Corallien du Suffolk

(1) Voyez 1re édition des *Principes de Géologie*, vol. III, chap. XIII et XIV, 1833 ; et les éditions antérieures de cet ouvrage (*Manuel*, etc.), chap. XXXI.

(2) *Geol. Quart. Journ.*, vol. VI, p. 281.

(3) *Catalogue des fossiles de Monte Mario.* Rome, 1854.

si bien décrites par M. Searles Wood; le rapport spécifique qu'ils ont trouvé entre les fossiles d'Angleterre et d'Italie est si étroit, eu égard cependant à la distance géographique et à la différence de latitude, que l'on ne peut guère hésiter de rapporter les deux dépôts à une même période, celle du Vieux Pliocène, telle que nous l'entendons dans cet ouvrage. Il est extrêmement probable qu'entre les trachytes les plus anciens de Toscane et les roches les plus nouvelles des environs de Naples, c'est-à-dire entre le Vieux Pliocène et l'Époque Historique, il se trouve une série de produits volcaniques de tout âge.

Catalogne. — Les géologues sont loin encore de pouvoir

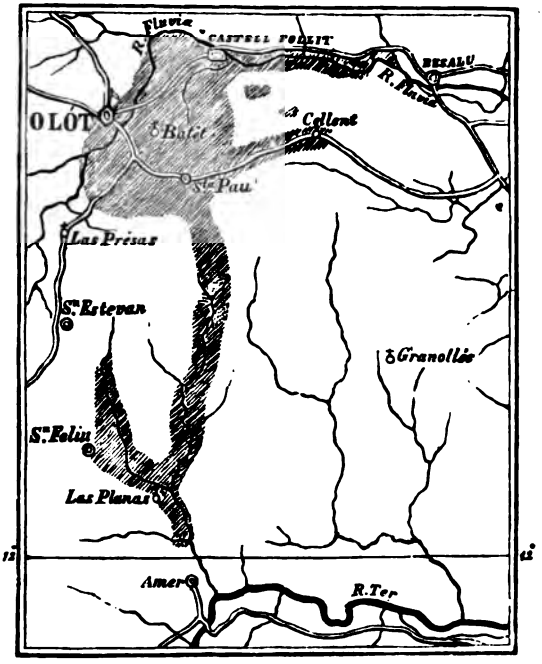


Fig. 666. — Région volcanique de Catalogne.

assigner à chacun des groupes volcaniques répandus en Europe une place chronologique précise dans la série ter-

tiaire; mais je vais décrire comme appartenant probablement à quelque division de la période Pliocène un district de volcans éteints des environs d'Olot, Nord de l'Espagne, district peu connu, et que j'ai visité pendant l'été de 1830.

La totalité de la surface recouverte par les produits volcaniques, en Catalogne, n'a pas plus de 27 kilomètres du Nord au Sud, et environ 10 kilomètres de l'Est à l'Ouest. Les issues d'éruption occupent exclusivement une bande étroite qui court du Nord au Sud, et ses ramifications, représentées dans la carte ci-contre comme s'étendant vers l'Est, se composent seulement de deux coulées de lave, celles de Castell Follit et de Cellent.

Le Dr Maclure, géologue américain, a, le premier, signalé l'existence de ces volcans (1), et, d'après la description qu'il en a faite, la région volcanique s'étendrait sur vingt lieues carrées, de Amer à Massanet. J'ai en vain cherché dans les environs de Massanet, Pyrénées, des traces d'un courant de lave, et je puis assurer que la carte ci-dessus donne une représentation exacte de la véritable surface volcanique.

Structure géologique du district. — Les éruptions ont eu lieu exclusivement à travers des roches fossilifères constituées par un grès gris et verdâtre avec conglomérat, ainsi que par quelques lits épais de calcaire nummulitique. Le conglomérat contient des cailloux roulés de quartz, calcaire et lydienne. Ce système de roche est très largement développé à travers la Catalogne; l'un de ses membres est un grès rouge auquel se trouve subordonnée la fameuse Roche-de-Sel (sel gemme) de Cardona, considérée habituellement comme datant de l'époque crétacée.

Près d'Amer, dans la vallée du Ter, vers les confins méridionaux du pays tels qu'ils sont tracés dans la carte, on voit des roches primaires consistant en gneiss, micaschite et schiste argileux. Elles se dirigent suivant une ligne presque parallèle aux Pyrénées, et elles ont rejeté sur leurs flancs les

(1) Maclure, *Journ. de phys.*, 1808, vol. LXVI, p. 219; cité par Daubeny, *Description of Volcanos*, p. 21.

couches fossilifères qui plongent ainsi au Nord et au Nord-Ouest. Ce plongement, orienté vers les Pyrénées, se lie à un axe distinct d'élévation, et domine à travers la surface figurée par la carte ; l'inclinaison des couches est parfois de 40 à 50 degrés.

Il est évident que la géographie physique de la contrée n'a pas subi de changement matériel depuis le commencement de l'ère des éruptions volcaniques, excepté ceux qui ont dû résulter de l'introduction de nouvelles éminences de scories et de coulées de lave sur la surface préexistante. Si l'on supposait des laves de nouveau en fusion et sortant de leurs cratères respectifs, elles descendraient les mêmes vallées où on les voit aujourd'hui, et elles viendraient occuper encore les espaces qu'elles remplissent actuellement. L'unique différence qui existerait dans la configuration extérieure entre elles et les laves récentes consisterait dans l'absence, chez celles-ci, de ravins ou de toutes traces d'érosion produite par les eaux.

Cônes et laves volcaniques. — On compte environ quatorze cônes distincts avec cratères dans cette partie de l'Espagne, outre plusieurs autres points d'où les laves sont peut-être sorties ; tous ces cônes sont disposés le long d'une bande étroite qui court Nord et Sud, comme nous le voyons dans la carte. La plupart des plus complets existent aux environs immédiats d'Olot ; quelques-uns sont représentés dans la gravure ci-contre (fig. 667, nos 2, 3 et 5). La plaine où cette ville est bâtie résulte évidemment de coulées successives de lave, qui sont parties de ces monticules pour descendre dans le bas de la vallée, car celle-ci eut jadis une profondeur plus considérable, comme les autres dépressions longitudinales de la contrée environnante.

Dans le dessin (fig. 667), j'ai tâché de faire ressortir par un système d'ombres les différentes formations géologiques dont la contrée se compose (1) Les montagnes (n° 1) qui se

(1) Ce dessin est d'après un croquis que j'ai pris moi-même sur place, en 1830.

profilent en blanc dans le lointain du spectateur sont les Pyrénées ; elles consistent en roches hypogènes et fossilifères anciennes. En face de ces montagnes, on voit les for-

Fig. 667. — Vue des volcans aux environs d'Olot en Catalogne.

mations fossilifères (n° 4), ombrées. Plus près de l'observateur, les collines 2, 3, 5 sont des cônes volcaniques, et le reste du paysage, dans la lumière, est formé de cendres et laves volcaniques.

La Fluvia, qui coule près de la ville d'Olot, a coupé, sur une profondeur de 12 mètres seulement, les laves de la plaine que nous avons mentionnée. Le lit de la rivière est un basalte dur, et, au pont de Santa-Madalena, on aperçoit deux courants très distincts de lave superposés l'un à l'autre, et séparés par un lit horizontal de scories d'une épaisseur de $2^{m},45$.

Dans un autre endroit, au sud d'Olot, la surface unie de la plaine est interrompue par un monticule de lave, appelé le *Bosque de Tosca*, dont la partie supérieure est scoriacée, et recouverte d'épais amas de fragments de basalte plus ou moins poreux. Entre ces nombreux amas existent des cavités

profondes qui ont l'apparence de petits cratères. Le tout ressemble précisément à certains courants modernes de l'Etna, ou à celui de Côme, près de Clermont ; ce dernier, comme le Bosque de Tosca, n'est recouvert que d'une maigre végétation.

Plusieurs des volcans de Catalogne sont aussi entiers que ceux des environs de Naples ou des versants de l'Etna. L'un d'eux, appelé Montsacopa (n° 3, fig. 667), est de forme très régulière et présente une dépression circulaire ou cratère à son sommet. Il est principalement composé de scories rouges que l'on ne saurait distinguer de celles des petits cônes de l'Etna. Les collines environnantes d'Olivet (n° 2) et de Garrinada (n° 5) ont une forme et une composition semblables.

Le plus grand cratère de toute la contrée existe plus à l'Est d'Olot, et se nomme Santa-Margarita. Il a 137 mètres de profondeur et environ 1 kilomètre et demi de circonférence. Comme Astroni, près de Naples, on le voit couvert d'une riche végétation d'arbres, et différents gibiers abondent dans la forêt qui le recouvre.

Bien que les volcans de Catalogne aient percé au travers des grès, schiste et calcaire, comme ceux de l'Eifel en Allemagne, que nous décrirons plus loin, il existe une différence remarquable dans la nature des éjections qui composent les cônes en ces deux régions. Dans l'Eifel, la quantité des fragments de grès et schiste qui sont sortis des évents volcaniques est tellement considérable qu'elle dépasse en volume les scories, la cendre et la lave ; mais j'ai cherché en vain dans les cônes des environs d'Olot des fragments de roche étrangère, et don Francisco Bolos, éminent botaniste d'Olot, m'assure n'en avoir jamais découvert lui-même.

Les sables et cendres volcaniques ne sont pas limités aux cônes, mais ont été quelquefois dispersés par le vent sur la surface totale de la contrée, puis rassemblés dans les vallées étroites, comme on le voit entre Olot et Cellent (fig. 668). La matière volcanique, cinériforme et légère, est en lits minces, réguliers, exactement comme si elle fût tombée sur

la pente du conglomérat solide. Aucun courant, sans doute, n'a parcouru la vallée postérieurement à la chute des scories; autrement celles-ci auraient, en majeure partie, été emportées. Les courants de lave, en Catalogne comme en

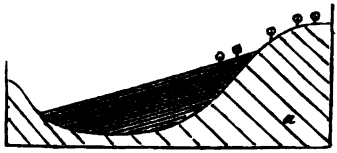


FIG. 668. — *a*. Conglomérat. — *b*. Bandes minces de sable et scories volcaniques.

Auvergne, dans le Vivarais, en Islande et dans tous les pays montagneux, présentent une épaisseur considérable le long des défilés étroits, mais ils s'étalent en nappes comparativement plus minces dans les vallées plus larges. Lorsqu'une rivière a coulé sur un sol presque horizontal, comme dans la grande plaine des environs d'Olot, l'eau ne s'est creusé qu'un lit de médiocre profondeur; mais si la pente a été considérable, le courant a ouvert une tranchée profonde pour pénétrer quelquefois, suivant le sens vertical, à travers la partie centrale d'un courant igné, mais plus fré-

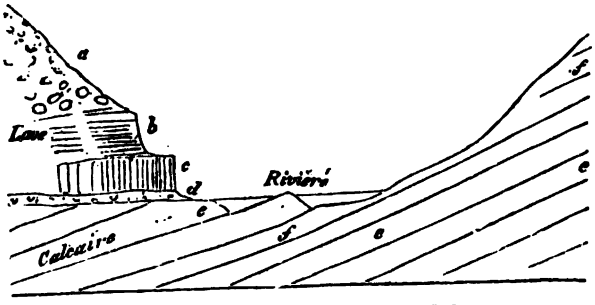


FIG. 669. — Coupe au-dessus du pont de Cellent.

a. Lave scoriacée. — *b*. Basalte schisteux. — *c*. Basalte colonnaire — *d*. Scories, sol végétal et alluvium. — *e*. Calcaire nummulitique. — *f*. Grès micacé gris.

quemment pour s'engager entre les laves et les roches secondaires ou tertiaires qui bordent la vallée. Par exemple, dans la coupe (fig. 669), au pont de Cellent, à 9 kilomètres Est

d'Olot, on aperçoit la roche incandescente longeant le petit ruisseau ; au contraire, des roches stratifiées inclinées en constituent le lit et la rive opposée. La partie supérieure de la lave de cet endroit, tout comme celle des courants de l'Etna et du Vésuve, est scoriacée ; plus bas, elle devient moins poreuse et prend une structure sphéroïdale ; à un niveau plus inférieur encore, elle se divise en plaques horizontales, chacune d'environ $0^m,050$ d'épaisseur, et se montre plus compacte. En dernier lieu, dans la partie la plus profonde, se trouve une masse de basalte prismatique de $1^m,50$ de puissance. Souvent les colonnes verticales reposent immédiatement sur les roches stratifiées sous-jacentes ; mais, entre les deux systèmes existent, par places, du sable et des scories comme on en observe se répandre sur une contrée pendant une éruption volcanique ; ces dépôts, s'ils n'étaient protégés tels qu'ils le sont ici par une lave qui les surmonte, seraient bientôt entraînés de la surface du sol. Parfois le lit *d* contient quelques cailloux roulés et des fragments angulaires de roches ; d'autres fois c'est une terre fine qui a dû constituer un ancien sol végétal.

On remarque, en plusieurs localités, des lits de sable et de cendre intercalés entre la lave et la roche stratifiée sous-jacente, par exemple le long du courant de lave qui descend de Las Planas vers Amer, et s'arrête à 3 kilomètres de cette ville. La rivière, en cet endroit, a souvent partagé la lave, et même, jusqu'à une profondeur de $5^m,50$, le calcaire sous-jacent. Quelquefois un alluvium de plusieurs mètres d'épaisseur se trouve interposé entre les formations ignée et marine. Il est intéressant de noter que dans tous ces amas ou d'autres, composés de cailloux roulés par les eaux et occupant une position semblable, il n'y a pas de fragments arrondis de lave ; tandis que, dans les lits de gravier plus modernes des rivières de cette contrée, les galets volcaniques abondent.

L'excavation la plus profonde que j'aie observée en cette partie de l'Espagne, et qui ait été produite par une rivière au

travers d'une lave, se voit au fond d'une vallée près de San Feliu de Pallerols, à l'opposite du Castell de Stolles. La lave a comblé ce fond de vallée, et suivant sa largeur court un étroit ravin sur une profondeur de 30 mètres. Dans sa partie inférieure, la lave présente une structure prismatique. Il a fallu, sans doute, un temps considérable pour le creusement d'un ravin aussi profond ; mais, aujourd'hui, on a des motifs de penser que le courant igné au sein duquel il est ouvert date d'une époque plus ancienne que ceux de la plaine des environs d'Olot. D'un autre côté, la déclivité du sol, et, conséquemment, la vélocité de ce courant ayant été plus considérables, un volume plus notable de roches dut être emporté dans le même temps.

Je donnerai encore une coupe (fig. 670) pour élucider le phénomène volcanique de ce district. Une coulée de lave, partie d'une crête de colline à l'Est d'Olot, est descendue par une pente très rapide jusqu'à la vallée de la rivière Fluvia.

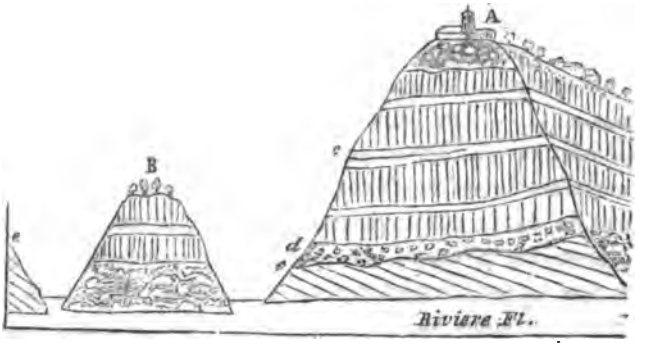


FIG. 670. — Coupe à Castell Follit.

A. Église et ville de Castell Follit, au sommet et au bord de précipices de basalte. — B. Ilot de chaque côté duquel les branches de la rivière Teronel coulent pour aller rejoindre la Fluvia. — *c*. Escarpement de lave basaltique en grande partie colonnaire, de 40 mètres de haut. — *d*. Alluvium ancien au-dessous du courant de lave. — *e*. Couches inclinées de grès.

Là, elle est arrivée d'abord au contact de l'eau courante, qui en a saisi quelques portions et mis à découvert la structure intérieure, produisant un précipice d'environ 40 mètres de haut, au bord duquel se trouve la ville de Castell Follit.

Par la jonction des rivières Fluvia et Teronel, la masse de lave a été partagée en deux endroits, et il en est résulté la roche isolée B (fig. 670) qui, probablement, n'a jamais été aussi élevée que la falaise A, car elle a dû former la partie inférieure de la pente du courant originel.

Lorsqu'on examine les falaises verticales, on voit que la partie supérieure de la lave sur laquelle la ville est construite offre une structure scoriacée, et passe, inférieurement, à un basalte sphéroïdal; quelques-uns des plus gros sphéroïdes n'ont pas moins de $1^{m},80$ de diamètre. Au-dessous se trouve un basalte plus compacte avec cristaux d'olivine. Il existe en tout cinq niveaux de basalte dont les plus supérieurs sont sphéroïdaux et les autres prismatiques, séparés par des lits minces, non colonnaires, quelques-uns schisteux. Ces niveaux résultent sans doute de coulées successives de lave appartenant à la même éruption ou à des périodes différentes. La masse totale repose sur un alluvium de 3 mètres à $3^{m},65$ d'épaisseur, composé de cailloux roulés de calcaire et de quartz, mais sans aucun mélange de roches ignées; sous ce rapport seulement, cette masse paraît différer du gravier moderne de la Fluvia.

Bufadors. — Les roches volcaniques des environs d'Olot possèdent souvent une structure caverneuse semblable à celle de certaines laves de l'Etna; et, sur plusieurs points de la colline de Batet, aux environs de la ville, le son que rend le sol, lorsqu'on le frappe, est comme celui que ferait entendre dans une même circonstance un souterrain voûté. A la base de cette dernière colline, on remarque les embouchures de cavernes souterraines, au nombre de douze, appelées par les gens du pays *Bufadors* : de ces embouchures s'échappe, pendant l'été, un air froid; mais en hiver, dit-on, le courant est à peine sensible. Je visitai l'un de ces Bufadors au commencement d'août 1830; la chaleur était plus intense que d'habitude pour la saison, et je trouvai effectivement qu'un air froid se dégageait de son ouverture, ce qui s'explique facilement. Lorsque l'air extérieur, dilaté par

la chaleur, vient à monter, l'air plus froid et plus lourd des cavernes de l'intérieur de la montagne s'échappe au dehors, sous l'influence de la pression, pour suppléer au fluide que l'élévation de température a raréfié.

Quant à l'âge de ces volcans espagnols, on a voulu admettre que, tout comme en Auvergne et dans l'Eifel, les premiers habitants du pays avaient été témoins oculaires de l'action volcanique. En 1421, dit-on, époque à laquelle Olot fut détruite par un tremblement de terre, une éruption eut lieu près d'Amer et brûla la ville. Les recherches de Don Francisco Bolos ont, je crois, démontré de la manière la plus convaincante que le dernier épisode de cette histoire n'a pas de véritable fondement historique, et tout géologue, en visitant Amer, acquiert la certitude qu'il n'y a jamais eu en ce lieu d'éruption. Il est vrai que, dans l'année ci-dessus mentionnée, la ville d'Olot tout entière, à l'exception d'une seule maison, fut renversée par un tremblement ; ce tremblement coïncida sans doute avec l'une des secousses qui, à des intervalles éloignés, pendant les cinq derniers siècles, agitèrent les Pyrénées, et en particulier la contrée située entre Perpignan et Olot : dans cette contrée, les mouvements atteignirent leur paroxysme précisément à l'époque que nous signalons ici.

La destruction de la ville a peut-être été due à la nature caverneuse de la roche sous-jacente ; car la Catalogne se trouve située au delà de la zone très étendue suivant laquelle les tremblements de terre ont produit le plus de ruines pendant la période historique.

Donc, puisque nous n'avons aucuns documents historiques pour nous guider sur l'âge de ces volcans éteints, consultons les monuments géologiques. Le diagramme ci-dessous (fig. 671) fournit, sous une forme synoptique, l'ensemble des résultats obtenus par de nombreuses coupes.

L'alluvium plus moderne (*d*) est partiel ; il a été formé par l'action que les rivières et les inondations ont exercée sur la lave. Au contraire, le gravier plus ancien (*b*) était

répandu sur la contrée avant les éruptions volcaniques. Dans aucun de ces dépôts, jusqu'à présent, on n'a découvert des débris organiques ; on peut donc seulement affirmer que l'action ignée des volcans commença postérieurement à la

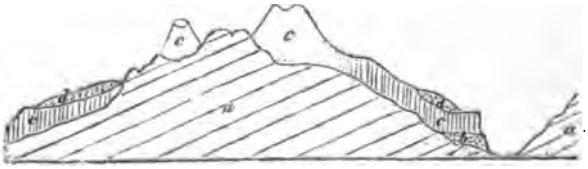


Fig. 671. — Superposition de roches dans la région volcanique de Catalogne.

a. Grès et calcaire nummulitiques. — *b*. Alluvium plus ancien, dépourvu de galets volcaniques. — *c*. Cône de scories et de lave. — *d*. Alluvium plus récent.

production de quelques-unes des roches les plus nouvelles de la série Nummulitique (Éocène) de Catalogne, et antérieurement à la formation d'un alluvium (*d*) d'une date inconnue. L'intégrité des cônes montre simplement que la contrée n'a point été agitée par de violents tremblements de terre, ni soumise à l'action d'inondations désastreuses depuis leur origine.

A l'Est d'Olot, sur la côte de Catalogne, on observe des couches tertiaires marines qui atteignent, près de Barcelone, la hauteur de 150 mètres environ. D'après les coquilles qu'elles m'ont fournies, ces couches semblent correspondre pour l'âge aux lits Subapennins ; il n'est pas improbable non plus que leur élévation du fond de la mer ait eu lieu pendant la période des éruptions volcaniques des environs d'Olot. Dans ce cas, les émissions ignées dateraient de la fin de la période du Vieux Pliocène ; mais peut-être sont-elles survenues postérieurement encore à cette date ; leur âge, jusqu'à présent, est resté tout à fait incertain.

Roches volcaniques de l'Eifel. — Les rapports chronologiques des roches volcaniques du Rhin Inférieur et de l'Eifel sont pareillement enveloppés d'épaisses ténèbres ; nous savons seulement que quelques-unes de ces roches sont contemporaines de certains dépôts tertiaires appelés *Braün*

Kohle (Charbon Brun) par les Allemands (1), dépôts qui probablement appartiennent, les uns au Miocène, les autres à l'Éocène Supérieur.

On voit le Lignite sur les deux bords du Rhin, dans les environs de Bonn ; il repose en stratification discordante sur des couches fortement inclinées et verticales de roches Siluriennes et Devoniennes. On pourra prendre une idée de sa

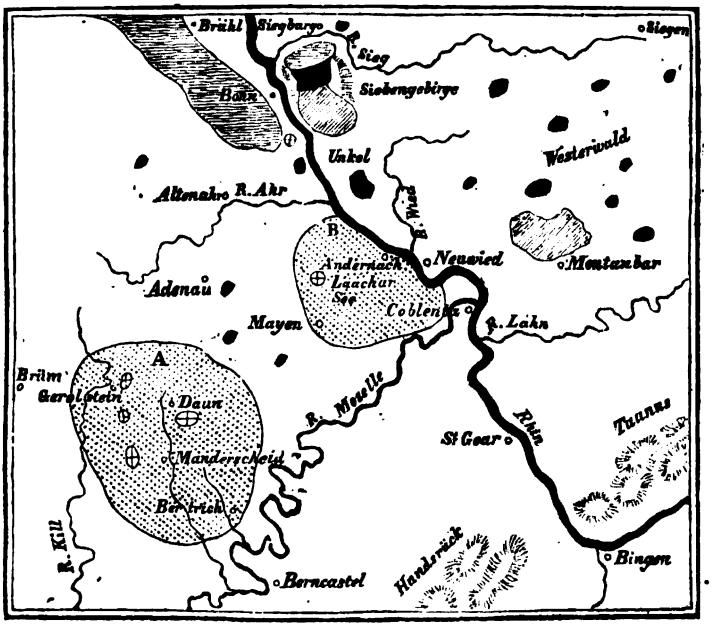


FIG. 672. — Carte de la région volcanique de l'Eifel Supérieur et de l'Eifel Inférieur.

N. B. La partie de la carte qui a été laissée en blanc est formée de roches Siluriennes et Devoniennes inclinées.

(1) C'est le lignite des minéralogistes et géologues français.

(*Note du traducteur.*)

position géographique, et de l'espace qu'occupent les roches volcaniques à la fois dans le Westerwald et l'Eifel, sur la carte (fig. 672) que je dois à M. Horner ; un séjour de plusieurs années dans le pays a mis ce savant à même de vérifier les cartes de MM. Noeggerath et Von Oeynhausen, dont celle-ci est principalement extraite (1).

La formation de lignite de cette région consiste en lits de sable meuble, grès, conglomérat, argile, avec nodules de minerai de fer argileux et parfois de silex. Des bandes minces d'un charbon couleur brun clair ou quelquefois noir, alternent avec les argiles et sables, et souvent sont répandues sans régularité au sein des roches. Elles contiennent de nombreuses empreintes de feuilles et de tiges d'arbres, et sont avantageusement exploitées comme combustible ; de là le nom de la formation.

Sur plusieurs points alternent, avec les mêmes roches, de minces couches de tuffs trachytiques, et, au sein de ces tuffs, on observe des feuilles de plantes identiques avec celles du lignite, circonstance prouvant que, pendant la période d'accumulation de ce dernier dépôt, ont eu lieu quelques éjections volcaniques.

M. Von Dechen a donné dans son ouvrage sur les Siebengebirge (Sept Collines) (2) une liste nombreuse des débris animaux et végétaux des couches d'eau douce associées au lignite. On rencontre, au sein de ces couches, des plantes appartenant aux genres *Flabellaria*, *Ceanothus* et *Daphnogene* (en particulier le *D. cinnamomifolia*, fig. 169, t. I, p. 167), et près de cent cinquante autres plantes, y compris toutes celles qui ont été nommées d'après quelques caractères incertains fournis par les feuilles. La plupart se rapportent à des genres vivants, mais à des espèces éteintes. Parmi les débris d'animaux vertébrés ou invertébrés, plusieurs sont particuliers au dépôt, tandis que certains autres, la *Litto-*

(1) Horner, *Trans. of Geol. Soc.*, 2e série, vol. V.

(2) *Geognost. Beschreib. des Siebengebirges am Rhein.* Bonn, 1852.

rinella acuta, Desh., par exemple, tendent à rapprocher les couches aux divisions supérieures d'eau douce du bassin de Mayence. La base de ce bassin, d'origine marine, consiste en lits sableux, très voisins pour l'âge, comme nous l'avons dit (tome I, page 304), du groupe du Limbourg que nous avons appelé dans cet ouvrage Éocène Supérieur. Mais, quant aux dépôts d'eau douce du Rhin près de Bonn, on y trouve une quantité si considérable de plantes, insectes, poissons, batraciens et divers autres fossiles absents partout ailleurs, que l'on ne saurait, du moins jusqu'à présent, leur assigner une place précise dans la série chronologique. Sans aucun doute, ces dépôts se formèrent durant le long intervalle de temps qui sépara l'une de l'autre les formations tertiaires Nummulitique et Falunienne, de telle sorte qu'ils sont plus récents que l'Éocène Moyen, et plus anciens que les couches Miocènes de notre tableau (tome I, page 170). On peut regarder comme sujette encore à discussion la classification des dépôts qui appartiennent à cet intervalle de temps, et différentes opinions ont été émises à ce sujet par plusieurs géologues éminents. Vînt-on par hasard à trouver un passage entre les terrains tertiaires du nord de l'Allemagne, sur lesquels les travaux de M. Beyrich ont jeté tant de jour, et les Faluns de la Loire ; ce passage fût-il établi par la découverte de couches intermédiaires quant à l'âge et aux caractères paléontologiques : la meilleure ligne de démarcation qu'il faudrait adopter serait celle proposée par M. Hébert, suivant laquelle toutes les couches du Limbourg, le Grès de Fontainebleau, la partie inférieure du bassin de Mayence et les lits de Hempstead dans l'île de Wight (voy. t. I, p. 307), sont classés comme Miocène Inférieur, tandis que les Faluns sont rangés dans le Miocène Supérieur. Entre ces deux formations il existe encore un si long hiatus, que je n'ai pas cru devoir, pour des raisons exposées ailleurs, les réunir sous un nom commun (1).

(1) Cette feuille était déjà à l'impression lorsqu'a paru un travail important

Les poissons, dans le lignite des environs de Bonn, sont répandus au sein d'un schiste bitumineux appelé lignite papyracé, parce qu'on peut le diviser en feuilles extrêmement minces. Les individus en sont très nombreux, mais paraissent appartenir à un petit nombre d'espèces, et quelques-uns se rapportent, suivant M. Agassiz, aux genres *Leuciscus*, *Aspius* et *Perca*. On a découvert aussi, dans le lignite papyracé, des débris de grenouilles d'espèces éteintes; on peut en voir une série complète au Muséum de Bonn : ils présentent depuis l'état le plus imparfait de têtard jusqu'à celui d'animal complet. Avec ces débris on a trouvé une salamandre qu'il est difficile de distinguer de l'espèce récente, et aussi des restes de divers insectes.

Au-dessus du lignite gît un vaste dépôt de gravier principalement composé de cailloux roulés de quartz blanc, mais contenant aussi quelques fragments d'autres roches ; ce dépôt ne forme parfois qu'une mince enveloppe, d'autres fois il atteint une puissance de plus de 30 mètres. Le gravier se distingue nettement, par ses caractères, de celui qui constitue aujourd'hui le lit du Rhin ; les Allemands l'appellent *Kiesel gerölle ;* souvent il atteint de grandes élévations, et, sur plusieurs points, il est recouvert d'éjections volcaniques. Évidemment la contrée a subi d'énormes changements dans sa géographie physique depuis la formation de ce gravier dont, en effet, la position est rarement en rapport avec le système actuel d'écoulement des eaux (drainage) ; de plus la grande vallée du Rhin, ainsi que toutes les roches volcaniques les plus modernes de la même région, lui sont postérieures.

On voit près d'Andernach, et en d'autres endroits, quelques-uns des lits les plus récents de sable volcanique, de

sur le lignite et autres dépôts du bassin de Mayence, par William J. Hamilton, Esq. P. G. S. (*Geol. Quart. Journ.*, vol. X, p. 254). Dans ce travail se trouve discutée la question de classification dont il s'agit ; quelle que soit la terminologie que l'on adopte, j'insisterai fortement pour que l'on rapporte les lits de Hempstead de l'île de Wight, et les couches du Limbourg, à une seule et même période, qu'on l'appelle Miocène Inférieur ou Éocène Supérieur.

cendres et de scories, alternant avec le *loam* (limon) autrement appelé *loess*, que nous avons décrit ailleurs comme rempli de coquilles récentes terrestres ou d'eau douce, et que l'on doit rapporter à la période Post-Pliocène. J'ai déjà fait entendre (t. I, p. 199) que cette intercalation de matières volcaniques entre des couches de loess peut s'expliquer sans admettre que les dernières éruptions de l'Eifel aient eu lieu à une époque aussi récente que celle de l'accumulation de ces couches.

Les roches ignées du Westerwald et des montagnes nommées les Siebengebirge se composent en partie de laves basaltiques et en partie de laves trachytiques ; ces dernières sont en général les plus anciennes des deux groupes. Il y a plusieurs variétés de trachyte : certaines sont éminemment cristallines, et ressemblent à un granit à gros éléments, avec larges cristaux séparés de feldspath. Le tuff trachytique abonde aussi dans cette région. Ces formations, dont quelques-unes ont été certainement contemporaines de la production du lignite, furent les premières d'une longue série d'éruptions dont la plus récente est survenue à une époque où la contrée avait déjà acquis, ou à peu près, sa configuration géographique actuelle.

Volcans de l'Eifel. — Cratères à lacs. — J'ai reconnu, dans les volcans les plus modernes de l'Eifel, des caractères distincts de tous ceux que j'avais observés précédemment en France, en Italie, en Espagne ; je vais les décrire ici rapidement. Les roches fondamentales de la contrée sont des grès et schistes gris et rouges, avec calcaires accidentels, le tout rempli de fossiles du Devonien ou groupe du Vieux Grès Rouge. Les volcans se sont fait jour au milieu de ces couches inclinées, à une époque où les systèmes actuels de collines et de vallées s'étaient déjà dessinés. Les éruptions ont eu lieu parfois dans le fond de vallées profondes, d'autres fois sur le sommet de collines, et fréquemment sur des plateaux : un voyageur qui parcourt ce district ne manque pas d'en rencontrer fréquemment, et sans s'y attendre ; souvent même il

marche sur le bord d'un cratère avant de soupçonner seulement qu'il approche de l'emplacement d'une ancienne bouche à feu. Par exemple, supposons qu'en arrivant au village de Gemund, immédiatement au Sud de Daun, il quitte le ruisseau qui coule au fond d'une vallée profonde où affleurent des couches de grès et de schiste ; qu'il gravisse, de là, une colline escarpée à la surface de laquelle on voit la tranche des mêmes couches plongeant à l'intérieur de cette colline ; lorsqu'il aura atteint une hauteur considérable, il commencera à rencontrer des fragments de scories répandus çà et là à la surface ; enfin, dès qu'il sera parvenu au point culminant, il se trouvera tout à coup sur le bord d'un *tarn* ou bassin d'un lac profond, circulaire (fig. 673).

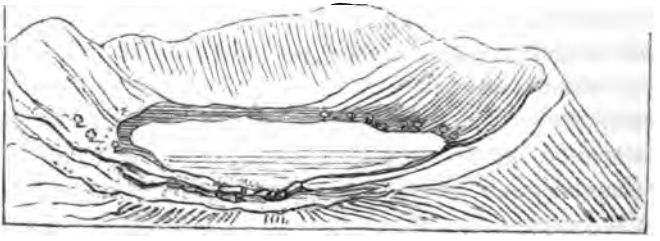


Fig. 673. — Le Gemunder Maar.

Ce lac, que l'on appelle le Gemunder Maar, est l'un des trois qui existent en cet endroit, tout à fait rapprochés, car une même crête sépare deux cavités voisines. A voir le premier de ces lacs (fig. 673), on reconnaît la forme ordinaire d'un cratère ; du reste, il fallait s'y attendre, par la rencontre de scories répandues à la surface du sol. Mais si l'on examine les parois du cratère, on ne tarde pas à apercevoir des précipices de grès et schiste qui ne montrent aucune trace de l'action ignée ; on y cherche en vain ces lits de lave et de scories plongeant dans toutes les directions, que nous sommes habitués à considérer comme caractéristiques des éruptions volcaniques. Toutefois, à mesure que l'observateur s'avance vers le côté opposé du lac, et visite les cratères

c et *d* (fig. 674), il rencontre une quantité considérable de scories, et quelques laves : il remarque, en même temps, que la surface entière du sol est parsemée de sable volcanique et

FIG. 674. — *a*. Village de Gemund. — *b*. Gemunder Maar. — *c*. Weinfelder Maar. — *d*. Schalkenmehren Maar.

de fragments rejetés d'un schiste à moitié fondu qui a conservé sa texture feuilletée à l'intérieur, tandis que la surface est vitrifiée et scoriforme.

A quelques kilomètres au sud du lac que je viens de mentionner est le Pulvermaar de Gillenfeld, lac ovale, d'une forme très régulière, entouré d'une crête continue de matériaux fragmentaires rejetés, schiste et grès, et conservant une altitude uniforme de 445 mètres environ au-dessus de la mer. Sa pente, à l'intérieur, est de 45 degrés à peu près ; à l'extérieur, elle est de 35 degrés. Des matières volcaniques sont entremêlées, très rares, aux éjections qui, en cet endroit, cachent totalement à la vue les roches stratifiées de la contrée (1).

Le Meerfelder Maar est une cavité d'un diamètre et d'une profondeur beaucoup plus considérables, creusée dans les mêmes couches ; ses côtés présentent, sur quelques points, des sections abruptes de roches secondaires inclinées, et celles-ci, en d'autres endroits, sont recouvertes d'un épais manteau de schiste pulvérulent. Je n'ai pu découvrir de scories parmi les matériaux rejetés, mais on y a signalé des boules d'olivine et autres substances volcaniques (2). Cette cavité, que nous pouvons supposer avoir émis une énorme quantité de gaz, a presque 1 kilomètre et demi de diamètre, et l'on dit qu'elle mesure plus de 180 mètres de profondeur.

(1) Scrope, *Edinb. Journ. of Scienc.*, juin 1826, p. 145.

(2) Hibbert, *Extinct Volcanos of the Rhine*, p. 24.

Dans son voisinage est une montagne appelée le Mosenberg, formée, à sa partie inférieure, de grès rouge et schiste, mais supportant à son sommet un triple cône volcanique, tandis que de ses flancs descend une coulée distincte de lave. Le circuit du cratère du cône le plus large m'a rappelé tout à fait la forme et les caractères de celui du Vésuve ; mais j'ai été surtout frappé du mur ou parapet abrupt, et presque en surplomb, que les scories présentaient vers l'intérieur, par exemple en *a*, *b* (fig. 675). Je ne puis expliquer cette forme qu'en supposant que les fragments, à la température de la

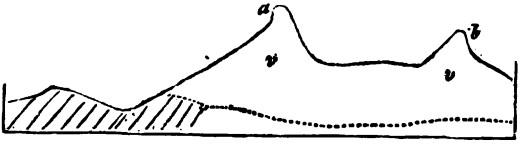


FIG. 675. — Roches stratifiées. — *v*. Volcaniques.
Profil du Mosenberg, Eifel Supérieur.

chaleur rouge lorsqu'ils vinrent remplir la cavité, se cimentèrent en une masse compacte, et continuèrent pendant quelque temps à garder leur état de demi-fusion.

Si l'on passe de l'Eifel Supérieur à la contrée inférieure de même nom, de A à B (voy. carte, t. II, p. 343), on rencontre le fameux cratère à lac de Laach, qui offre une ressemblance plus frappante encore qu'aucun de ceux jusqu'ici mentionnés avec le Lago di Bolsena et autres d'Italie ; il est en effet surmonté d'un rebord de collines à pente douce, composées de tuffs meubles, de scories et blocs de diverses variétés de lave.

L'un des volcans les plus intéressants de la rive gauche du Rhin, aux environs de Bonn, se nomme le Roderberg. Il offre un cratère circulaire d'à peu près 400 mètres de diamètre sur 300 mètres d'épaisseur, et il est aujourd'hui couvert de champs de blé. Des couches fortement inclinées de grès et schiste anciens s'élèvent jusqu'à la lèvre de l'un des côtés de sa bouche béante ; mais elles sont recouvertes de gravier quartzeux, et celui-ci, à son tour, supporte des scories volcaniques et un sable tuffacé. La paroi opposée du

cratère se compose de cendres et roches scoriformes, semblables à celles du sommet du Vésuve. Il est de la dernière évidence que l'éruption s'est faite à travers le grès et l'alluvium qui le recouvre immédiatement ; j'ai même observé quelques cailloux roulés de quartz mêlés aux scories contre les flancs de la montagne, comme s'ils eussent été lancés dans l'air pour retomber avec les cendres volcaniques. J'ai déjà annoncé qu'une grande portion de ce cratère avait été comblée par du loess (t. I, p. 199).

Le trait le plus remarquable de la plupart des cratères que nous avons décrits ci-dessus est l'absence de toute trace d'altération ou de torréfaction contre leurs parois, lorsque celles-ci sont formées de couches régulières de grès et schiste anciens. Il est évident que les sommets des collines composées des roches stratifiées que nous venons de mentionner, ont, dans certains cas, été emportés par les explosions gazeuses, et qu'au contraire pas de laves et souvent très peu de scories sont sorties de la cavité nouvellement formée. En réalité, rien n'est plus frappant, dans les volcans de l'Eifel, que la preuve qu'ils fournissent d'un dégagement prodigieux de gaz, non accompagné de coulées de matières fondues, excepté çà et là où, encore, celles-ci ont un volume insignifiant. Je ne connais pas d'autres volcans éteints où des explosions gazeuses d'une telle abondance et d'une telle énergie aient amené une aussi minime quantité de lave. Cependant, c'est en vain que j'ai cherché dans l'Eifel des indications à l'appui de l'hypothèse dite des *cratères de soulèvement* (chap. XXIX), suivant laquelle les roches stratifiées auraient été soulevées tout autour de la bouche volcanique par l'émission subite de volumes énormes de gaz, pour former des masses coniques à couches plongeant au dehors, de tous les côtés de l'axe central.

Trass. — Dans l'Eifel Inférieur, des éruptions de lave trachytique ont précédé l'émission des courants de basalte, et d'immenses quantités de ponce ont accompagné partout la sortie des trachytes. L'alluvium tuffacé appelé *trass*, qui a

recouvert de larges surfaces dans ce pays, et comblé quelques vallées aujourd'hui en partie recouvertes, n'est pas stratifié. Sa base est presque entièrement composée de ponce contenant des fragments de basalte et d'autres laves, des morceaux de schiste, d'ardoise et de grès calcinés, ainsi que de nombreux troncs ou branches d'arbres. Si ce trass se forma durant la période des éruptions volcaniques, peut-être son origine fut-elle analogue à celle du *moya* des Andes.

On comprend facilement qu'une masse semblable pourrait très bien aujourd'hui se produire par un énorme volume de gaz se développant dans l'un des bassins à lac. L'eau resterait pendant des semaines dans un état d'ébullition violente, jusqu'à ce qu'elle ait acquis la consistance de boue, exactement comme la mer qui continua à rester chargée de vase, autour de l'île Graham, dans la Méditerranée, en 1831. Qu'une brèche vînt alors à s'ouvrir sur l'un des côtés du cône, le flot précipiterait d'énormes amas de fragments de schiste et grès qui iraient combler la vallée la plus proche. Des forêts entières pourraient disparaître sous la violence d'un cataclysme pareil, et de là, l'existence de ces nombreux troncs d'arbres que l'on trouve dispersés irrégulièrement à travers le trass.

Hongrie. — Beudant a décrit, dans son remarquable ouvrage sur la Hongrie, cinq groupes distincts de roches volcaniques. Ces groupes, bien que peu développés en étendue, fournissent des traits saillants à la géographie physique de cette contrée : ils s'élèvent, sous forme abrupte, du milieu de plaines étendues formées de couches tertiaires. Ils ont sans doute constitué des îles dans la mer ancienne, comme aujourd'hui Santorin et Milo dans l'Archipel Grec. Beudant a remarqué que les produits minéraux de ces deux dernières îles ressemblaient extraordinairement à ceux des volcans éteints de Hongrie, où abondent plusieurs des mêmes espèces ou variétés minérales, opale, calcédoine, silex résineux (résinite), perlite, obsidienne et pitchstone (rétinite).

Les laves, en Hongrie, sont principalement feldspathiques.

Elles consistent en différentes variétés de trachyte; plusieurs sont cellulaires et servent de pierre à moudre; quelques-unes sont même scoriformes, ce qui indique leur sortie à ciel ouvert. On y rencontre de la ponce en quantité et aussi des conglomérats, ou plutôt des brèches dans lesquelles des fragments de trachyte sont liés par du tuff ponceux ou quelquefois par de la silice.

Il est probable que ces roches ont été imprégnées de silice par des eaux de source chaudes analogues aux Geysers, ou peut-être, dans quelques cas, par des vapeurs aqueuses lesquelles, comme celles de Lancerote, auraient déposé de l'hydrate de silice.

Sous l'influence de ces sources ou vapeurs, les troncs et branches d'arbres entraînés par les inondations, et ensevelis dans les tuffs sur les versants de la montagne, ont pu se silicifier. On creuse rarement, dit Beudant, à une certaine profondeur, dans le dépôt ponceux d'un massif volcanique, sans rencontrer du bois opalisé, ou, quelquefois, des troncs entiers d'arbres à grandes dimensions et d'un poids considérable, complétement remplacés par la silice.

D'après les espèces de coquilles recueillies principalement par M. Boué et examinées par M. Deshayes, il paraîtrait que les débris fossiles enfouis dans les tuffs volcaniques et au sein des couches qui alternent avec ceux-ci, en Hongrie, appartiennent au type Miocène, et qu'ils ne sont point identiques, comme on l'avait d'abord supposé, avec les fossiles du bassin de Paris.

CHAPITRE XXXII.

SUR LES DIFFÉRENTS AGES DES ROCHES VOLCANIQUES (*suite*).

Roches volcaniques des périodes Pliocène, Miocène et Éocène (suite). — Auvergne. — Mont Dor. — Brèches et alluvium du mont Perrier, avec ossements de quadrupèdes. — Rivière barrée par un courant de lave. — Chaîne de petits cônes, de l'Auvergne au Vivarais. — Monts Dôme. — Puy de Côme. Puy de Pariou. — Cône non dénudé par les inondations générales. — Velay. — Os de quadrupèdes enfouis dans les scories. — Cantal. — Roches volcaniques Éocènes. — Tuffs des environs de Clermont. — Colline de Gergovia. — Trapp de la période Crétacée. — Période Oolitique. — Période du Nouveau Grès Rouge. — *Rocher* et *Aiguille* près de Saint-Andrew's. — Période Silurienne. — Roches volcaniques Cambriennes.

Roches volcaniques d'Auvergne. — Les volcans éteints de l'Auvergne et du Cantal paraissent avoir commencé leurs éruptions durant la période de l'Éocène Supérieur, et atteint leur maximum d'intensité pendant les ères Miocène et Pliocène. J'ai déjà signalé la grande succession d'événements dont l'Auvergne fut le théâtre depuis la dernière retraite de la mer (voy. t. I, p. 312).

Les monuments les plus anciens de la période Tertiaire que montre cette contrée, sont des dépôts lacustres d'une grande épaisseur (2, fig. 676, p. 357), dont les conglomérats inférieurs contiennent des cailloux roulés de quartz, micaschiste, granit et autres roches non volcaniques, sans le plus léger mélange de produits ignés. A ces conglomérats succèdent des calcaires ainsi que des marnes calcaires et argileuses (3, fig. 676) contenant des coquilles et des os de mammifères de l'Éocène Supérieur ; les lits les plus élevés du dépôt alternent parfois avec un tuff volcanique de même

remplissage d'anciens lacs ou l'épuisement

aux, d'énormes masses de trachyte, de basalte de brèche volcanique s'accumulèrent sur une épaisseur de milliers de mètres, et se superposèrent au granit ou aux

couches lacustres contiguës. La plus grande partie des roches ignées paraît être sortie pendant les périodes Miocène et Pliocène ; des quadrupèdes éteints de ces époques, et principalement des genres Mastodonte, Rhinocéros et autres, furent ensevelis dans les cendres ou à travers les lits de sable et de gravier d'alluvion, et durent leur conservation à l'épanchement de la lave qui vint les recouvrir.

La plus ancienne et la plus remarquable des masses volcaniques de l'Auvergne est le Mont Dor, qui pose sans intermédiaire sur des roches granitiques, à distance des couches d'eau douce (1). Ce mont énorme s'élève rapidement à la hauteur de quelques mille mètres au-dessus du plateau qui l'entoure, et conserve la forme de cône surbaissé un peu irrégulier ; ses versants s'inclinent sous une pente plus ou moins abrupte jusqu'au niveau de la haute plaine environnante. Le cône se compose de lits minces de scories et de ponce avec leur détritus à un état ténu, ainsi que de couches intercalées, trachytiques et basaltiques qui, souvent, descendent en nappes non interrompues jusqu'à la base du mont où elles s'étalent circulairement (2). On observe aussi des conglomérats composés de fragments de roches ignées, les uns anguleux et les autres arrondis, alternant avec les roches dont il a été question ci-dessus ; ces différentes masses plongent à partir de l'axe central, et sont parallèles aux pentes de la montagne.

Le sommet du Mont Dor est couronné de sept ou huit pics rocheux, et l'on ne saurait y voir aujourd'hui un cratère régulier, mais on peut facilement en imaginer un qu'auraient démantelé les tremblements de terre, et dégradé les agents aqueux. Peut-être n'a-t-il formé dans l'origine, comme le cratère le plus élevé de l'Etna, qu'une saillie insignifiante relativement à sa grande masse, et peut-être aussi a-t-il été fréquemment détruit et renouvelé.

(1) Voyez la carte, t. I, p. 311.

(2) Scrope, *Central France*, p. 98.

Suivant l'opinion de certains géologues, ce mont, de même que le Vésuve, l'Etna et autres volcans à proportions colossales, ne devrait pas sa forme de dôme à la prédominance d'éruptions sur un ou plusieurs points centraux, mais bien au soulèvement de couches primitivement horizontales de lave et de scories. J'ai expliqué les raisons qui me font rejeter cette opinion (chap. XXIX, où j'ai parlé de Palma, et *Principes de Géologie*) (1). L'inclinaison moyenne du dôme, au Mont Dor, est de 8 degrés 6 minutes, tandis que dans les monts Loa et Kea, îles Sandwich, dont les pentes résultent de coulées de laves récentes, l'inclinaison est de 6 degrés 30 minutes sur un point, de 7 degrés 46 minutes sur un autre. Je ne trouve point absolument nécessaire de supposer que les courants basaltiques de l'ancien volcan de France aient été jadis plus horizontaux qu'ils ne le sont aujourd'hui. Néanmoins, il est extrêmement probable que, durant la longue série d'éruptions qu'exigea l'accumulation d'une aussi vaste masse de matières volcaniques, quelques dislocations ou soulèvements eurent lieu, et que, pendant la distension de la masse, les couches de lave et de scories durent, sur certains points, acquérir un peu plus ou un peu moins d'obliquité qu'elles n'en possédaient dans le principe.

Quant à l'âge de l'énorme massif du Mont Dor, il n'a pas été, jusqu'à présent, établi d'une manière définitive, car on n'a rencontré aucuns débris organiques au sein des tuffs, sauf des empreintes de feuilles d'arbres qui ne sont point encore déterminées. On peut affirmer avec certitude que les premières éruptions ont été postérieures à ces sortes de grès grossiers et conglomérats de la formation d'eau douce de la Limagne qui ne contiennent pas de cailloux roulés de roches volcaniques. D'un autre côté, des éjections ont eu lieu avant le drainage (desséchement) des grands lacs, et d'autres postérieurement à ce desséchement, à une époque où de pro-

(1) Chap. XXIV, XXV et XXVI, 7e, 8e et 9e édition.

fondes vallées avaient été déjà ouvertes au travers des couches d'eau douce.

J'ai essayé, dans la coupe ci-dessous, de faire comprendre la structure géologique d'une partie de l'Auvergne ; cette coupe pourra donner une idée de la série très longue et compliquée

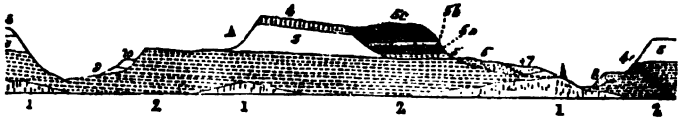


FIG. 670. — Coupe de la vallée de la Couze, à Nechers, passant par le Mont Perrier et Issoire, jusqu'à la vallée de l'Allier et à la Tour de Boulade (Auvergne).

10. Coulée de lave de Tartaret, près de sa terminaison à Nechers. — 9. Lit à ossements, argile sableuse rouge, sous la lave de Tartaret. — 8. Lit à ossements de la Tour de Boulade. — 7. Alluvium plus nouveau que le n° 6. — 6. Alluvium avec ossements d'hippopotame. — 5 *c*. Brèche trachytique ressemblant à 5 *a*. — 5 *b*. Lit à ossements, supérieur, gravier, etc., de Perrier. — 5 *a*. Brèche ponceuse et conglomérat, masses angulaires de trachyte, quartz, cailloux roulés, etc. — 5. Lit à ossements, inférieur, de Perrier ; sable et gravier ocreux. — 4'. Dyke basaltique. — 4. Plateau basaltique. — 3. Lits d'eau douce, supérieurs ; calcaire, marne, gypse, etc. — 2. Formation d'eau douce, inférieure ; argile rouge, sable vert, etc. — 1. Granit.

d'événements dont ce pays a été le théâtre à dater du dépôt des premières couches lacustres (n° 2) sur le granit (n° 1).

Des changements, que de nombreuses preuves attestent, impliquent une profonde dénudation sans aucune intervention de la mer pendant la totalité de cette période. Les lits supérieurs d'eau douce (n° 3), une fois formés au sein d'un lac, durent subir une profonde destruction, et cela, avant l'excavation des vallées de la Couze et de l'Allier. On a découvert dans ces lits plusieurs des fossiles de l'Éocène Supérieur que nous avons décrits dans le chapitre XV. Le dyke basaltique 4' est l'un des nombreux exemples d'intrusion de matières volcaniques à travers les couches d'eau douce Éocènes ; il a peut-être daté de l'Éocène Supérieur ou du Miocène, et donné naissance, une fois parvenu à la surface et étalé sur le sol, à une sorte de plateau de basalte comme on en voit couronnant les collines tertiaires en Auvergne et particulièrement au Mont Perrier.

Il n'est pas rare de rencontrer des lits de gravier à ossements de mammifères éteints, sous ces coulées anciennes

de basalte, par exemple au point A, entre le n° 4 et les couches d'eau douce n° 3 dont la surface, évidemment, forma, à cette époque, le niveau le plus inférieur auquel coulèrent les eaux qui arrosaient la contrée. Ultérieurement vint se déposer, sur ce plateau basaltique, un lambeau de sable et de gravier ocreux (n° 5) contenant de nombreux ossements de quadrupèdes. Au-dessus repose une brèche ou conglomérat tuffacé, avec blocs anguleux de trachyte, et quelques cailloux roulés de quartz. A ce dépôt font suite les formations 5 *b* semblable à 5, et 5 *c* identique avec la brèche trachytique 5 *a*. Ces deux brèches paraissent, d'après leur similitude avec d'autres roches analogues observées au Mont Dor, être descendues des flancs de la montagne pendant ses éruptions ; les dépôts d'alluvion qui alternent avec elles contiennent des débris de mastodonte, rhinocéros, tapir, daim, castor et quadrupèdes d'autres genres, pouvant se rapporter à quarante espèces environ, toutes éteintes. J'avais d'abord admis que ces débris appartenaient au même âge que les faluns du Miocène de Touraine ; mais la question de savoir si l'on ne doit pas plutôt les ranger dans l'époque Pliocène plus ancienne, exigerait de plus amples recherches et des comparaisons nouvelles.

Ces quadrupèdes, quel que soit leur âge dans la série Tertiaire, ont certainement habité le pays dès l'origine des formations 5 et 5 *c*. Ils furent probablement enveloppés par des inondations, et précipités des flancs de volcans en éruption, alors que d'énormes quantités de vapeurs s'échappaient du cratère, ou que de vastes amas de neige fondaient subitement sous l'action de la lave, comme cela s'est vu de nos jours à l'Etna et en Islande. Un déluge occasionné par de tels accidents entraîne nécessairement vers les vallées ou plaines qui s'étendent au pied d'un relief des fragments de roches ignées mêlées de boue.

Nous verrons plus tard que la vallée d'Issoire, ravagée par ces anciennes inondations, fut d'abord creusée aux dépens des formations 2, 3 et 4, comblée plus tard par les

masses 5 et 5 *c*, puis excavée de nouveau avant l'accumulation des alluvions plus modernes (nos 6 et 7). Dans ces dernières aussi, M. Bravard a découvert des espèces particulières de mammifères fossiles, entre autres un os d'hippopotame.

Enfin, lorsque la vallée de l'Allier céda une fois de plus à l'érosion, du côté d'Issoire, il se forma un talus de fragments anguleux de basalte et de calcaire d'eau douce (n° 8), appelé le lit à ossements de la Tour de Boulade; dans ce gisement, MM. Bravard et Pomel ont recueilli plusieurs autres mammifères: *Elephas primigenius*, *Rhinoceros tichorhinus*, *Cervus* (y compris un Renne), *Equus*, *Bos*, *Antelope*, *Felis* et *Canis*. Ce dépôt paraît véritablement le plus nouveau des environs, car en traversant la vallée de la Couze pour aller d'Issoire à Mont Perrier, on rencontre un autre lit à ossements (n° 9) surmonté d'une coulée de lave (n° 10).

L'histoire de cette coulée, qui se termine à quelques cents mètres au-dessous du point n° 10, dans les faubourgs du village de Nechers, est curieuse sous plus d'un rapport. La lave présente la forme d'une bande étroite, longue de 21 kilomètres ou plus, et remplit le fond de la vallée suivie par la rivière Couze qui sort d'un lac au pied du Mont Dor. Ce lac est retenu par une barrière traversant l'ancien lit de la Couze, et se composant en partie du cône volcanique formé de scories meubles, appelé le Puy de Tartaret, de la base duquel est sortie la coulée dont il est ici question. L'espèce de digue jetée ainsi devant la rivière est résultée également d'un glissement étendu de terrain survenu peut-être à l'époque de la grande éruption qui a produit le cône.

Ce cône de Tartaret fournit un monument imposant des différents âges auxquels sont survenues les éruptions ignées en Auvergne; car, évidemment, il s'est produit au fond de la vallée actuelle, dont les limites sont des précipices profonds formés de nappes d'anciens trachytes ou basaltes colonnaires

qui ont coulé jadis du Mont Dor, partant de niveaux très élevés (1).

Lorsqu'on suit le cours de la rivière Couze, depuis sa source au lac de Chambon jusqu'à l'extrémité terminale du courant de lave de Nechers, c'est-à-dire sur une distance de 21 kilomètres, on remarque que le torrent s'est creusé, sur plusieurs points, un lit au travers de la lave, dont la partie inférieure est colonnaire. Dans quelques gorges étroites, l'eau a été assez impétueuse pour emporter des masses entières de roche basaltique, quoique le travail d'érosion ait été, suivant toute probabilité, extrêmement lent, car le basalte était tenace et dur, et chaque colonne a dû, l'une après l'autre, être démantelée et réduite en cailloux, puis transformée en sable. Pendant le temps qu'a exigé cette opération, le cône pourtant si périssable de Tartaret, composé de sable et de cendres, est resté intact ; ce qui prouve que ni grande inondation ni déluge n'ont bouleversé cette région durant l'intervalle qui s'est écoulé entre l'éruption du Tartaret et les temps actuels. Revenons maintenant à la coupe (fig. 676) ; je ferai observer que le courant de lave de Tartaret, qui a diminué beaucoup d'épaisseur et de volume vers son extrémité terminale, présente en cet endroit une section perpendiculaire, de 7 mètres de haut, tournée vers la rivière. Au-dessous de la lave est l'alluvium n° 9 formé d'une argile rouge sableuse qui devait couvrir le fond de la vallée lorsque vint à descendre le courant de roche fondue. Des ossements fournis par cet alluvium rappellent une espèce de rat des champs, *Arvicola;* on y distingue aussi la dent molaire d'un cheval éteint, *Equus fossilis.* D'autres débris, recueillis dans la même couche, appartiennent aux genres *Sus*, *Bos*, *Cervus*, *Felis*, *Canis*, *Martes*, *Talpa*, *Sorex*, *Lepus*, *Sciurus*, *Mus* et *Lagomys*, au total quarante-trois espèces au moins, toutes très proches voisines d'animaux récents, mais

(1) Pour une vue du Puy de Tartaret et du Mont Dor, voyez l'ouvrage de Scrope, *Volcanos of Central France.*

la plupart offrant quelques points de différence, par exemple le cheval dont il vient d'être question, examiné par M. Owen. On a rencontré également, associés aux fossiles que nous avons énumérés, des ossements de grenouille, serpent, lézard et de plusieurs oiseaux, ainsi qu'un grand nombre de coquilles terrestres récentes telles que *Cyclostoma elegans*, *Helix hortensis*, *H. nemoralis*, *H. lapicida* et *Clausilia rugosa*. Si l'on admet que ces animaux ont été entraînés par les inondations qui accompagnèrent les éruptions du Puy de Tartaret, la date de ce dernier événement étant comparativement très moderne, ils appartiendraient au Nouveau Pliocène, ou peut-être au Post-Pliocène. Néanmoins, le courant qui s'est échappé du Puy de Tartaret est très ancien relativement à l'existence de l'homme; on en a la preuve non-seulement dans la différence que présente la faune mammifère comparée à celle d'aujourd'hui, mais encore dans le fait de l'existence, à 2 kilomètres et demi environ de Saint-Nectaire, d'un pont romain d'une forme et d'une construction telles qu'il doit dater du v^e^ siècle, peut-être même d'une époque beaucoup plus ancienne. Ce pont est jeté sur la rivière Couze; il est supporté par deux arches, chacune de 4 mètres environ de large; ces arches sont posées dans la lave de Tartaret, sur les deux côtés de la rivière, circonstance démontrant jusqu'à l'évidence qu'un ravin semblable à celui qui existe aujourd'hui avait déjà été creusé par la rivière à travers la lave, treize ou quatorze siècles auparavant.

On compte, dans le centre de la France, plusieurs centaines de cônes petits comme celui de Tartaret; un grand nombre d'entre eux, semblables au Monte Nuovo près de Naples, sont le produit d'une seule éruption. Plusieurs suivent une direction sensiblement linéaire qui va de l'Auvergne au Vivarais; ils ont vomi surtout des courants de lave basaltique. Ceux d'Auvergne, appelés les Monts Dôme, situés sur un plateau granitique, constituent une crête irrégulière (voy. t. II, fig. 621, p. 222) de 28 kilomètres

de long sur 3 kilomètres de large. Ils sont ordinairement tronqués à leur sommet, mais le cratère est souvent intégralement conservé; la lave a coulé de leur base, bien que très fréquemment aussi le cratère présente, sur l'un de ses bords, une échancrure par laquelle la matière fluide s'est échappée. Ils sont composés de scories meubles, lapillis et pouzzolane, avec fragments de trachyte et de granit.

Puy de Côme. — On peut encore signaler comme petit volcan le Puy de Côme et sa coulée de lave, près de Clermont. Cette éminence conique s'élève d'un plateau granitique, sous l'angle de 30 à 40 degrés, jusqu'à la hauteur de 275 mètres. Son sommet offre deux cratères distincts, l'un d'une profondeur verticale de 76 mètres. Un courant de lave, qui s'est échappé au pied occidental de cette colline au lieu de s'épancher de l'un ou de l'autre cratère, a suivi une pente granitique dans la direction de l'emplacement actuel de la ville de Pontgibaut. De là il s'est étalé en une large nappe descendant par un plan rapide à la vallée de la Sioule, et remplissant l'ancien lit de la rivière sur une longueur de plus de 1 kilomètre et demi. Ainsi chassée de son premier parcours, la Sioule s'est frayé une voie nouvelle entre la lave et le granit de sa rive occidentale, et l'excavation a mis à découvert une sorte de muraille de basalte colonnaire, sur une profondeur d'environ 15 mètres (1).

Ce ravin continue de s'approfondir : chaque hiver, quelques colonnes de basalte sapées dans leurs fondements s'écroulent, descendent le lit de la rivière, et sont transformées, avec le temps, en sable et cailloux. Quant au cône de Côme, il est resté jusqu'à ce jour intact : ses matériaux meubles ont été protégés par une épaisse végétation, et, comme il est situé sur une élévation qui n'est commandée par aucune autre, il se trouve à l'abri des inondations causées par les pluies. Il n'y a pas de limite à la dégradation que pourra subir, par la suite des temps, le basalte très dur, si la géo-

(1) Scrope, *Central France*, p. 60 et planche.

graphie physique de la contrée ne vient pas à changer, et, par opposition, il n'y aura pas de terme au nombre d'années pendant lesquelles le sommet de Côme, composé de matériaux incohérents et destructibles, appelé le Puy de Côme, conservera sa condition actuelle.

Lave de Chaluzet. — Un autre volcan situé plus bas le long du cours de la Sioule fournit un second exemple du même phénomène : c'est le Puy Rouge, monticule conique

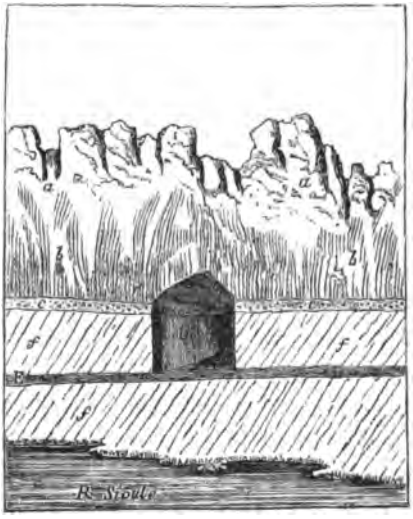


FIG. 677. — Coulée de lave de Chaluzet (Auvergne), à son point de terminaison (1).
a. Lave scoriacée. — *b*. Basalte colonnaire. — *c*. Gravier. — D. Ancienne galerie de mine. E. Sentier. — *f*. Gneiss.

situé au nord du village de Pranal. Le cône de ce volcan est complétement formé de scories rouges et noires, de tuff et bombes volcaniques (2). Sur son versant occidental, vers le village de Chaluzet, existe un cratère démantelé duquel

(1) Lyell et Murchison, *Ed. New Phil. Journ.*, 1829.

(2) Sortes de masses allongées, fusiformes, renflées vers leur milieu, qui ont été lancées dans l'atmosphère par les éruptions volcaniques ; la croûte extérieure est scoriacée ; l'intérieur de la portion renflée est occupé ordinairement par du péridot grenu. (*Note du traducteur.*)

est sortie une puissante coulée de lave se dirigeant dans la vallée de la Sioule. La rivière s'est, depuis, creusé un ravin à travers la lave et le gneiss sous-jacent, sur une profondeur qui va quelquefois à 122 mètres. Au-dessus de l'escarpement dont est formé le côté gauche de ce ravin, on voit une masse puissante de lave scoriacée noire et rouge, qui devient de plus en plus colonnaire vers sa base (fig. 677). Inférieurement à cette lave, existe, sur $0^{m},90$ d'épaisseur, le lit *c* de sable et de gravier, qui fut évidemment un ancien lit de rivière, et qui, maintenant, se trouve à une hauteur de 7 mètres au-dessus des eaux de la Sioule. A ce gravier, d'où s'échappent des sources, succède un gneiss corrodé, sur la profondeur de 7 mètres à l'endroit que représente l'esquisse ci-dessus. En D, tout près du village de Les Combres, on remarque l'entrée d'une galerie d'où l'on a extrait du minerai de plomb gisant dans le gneiss. Cette mine montre que le lit à galets suit d'une manière continue une direction horizontale entre le gneiss et la masse volcanique. Ici encore, évidemment, pendant que le basalte était graduellement rongé et entraîné par la force de l'eau courante, le cône qui avait fourni la lave échappait à la destruction, situé comme il l'était sur un plateau de gneiss élevé de quelques centaines de mètres au-dessus du niveau de la vallée jadis le théâtre des destructions opérées par l'élément liquide.

Puy de Pariou. — Le bord du cratère du Puy de Pariou, près de Clermont, est tellement aigu, et a si peu souffert des injures du temps, qu'à peine offre-t-il une place pour s'y asseoir. Ce cône et divers autres ont résisté, je le suppose, non point en dépit de leur nature meuble ou poreuse, comme on pourrait le croire de prime abord, mais à cause même de ce caractère. Il ne doit pas se rassembler de filets d'eau sur une surface où la pluie est immédiatement absorbée, à mesure qu'elle tombe, par le sable et les scories, comme c'est le cas bien manifeste pour l'Etna. Une trombe seule, se précipitant directement sur le Puy de Pariou, eût été capable d'emporter une portion de la montagne, en supposant toute-

fois que cette trombe ne se fût point engoufrée dans les entrailles du cône par suite d'un tremblement de terre.

On conçoit donc que de telles éminences, d'un aspect si bien conservé et d'une forme si complète, puissent cependant remonter à une très haute antiquité. Le Dr Daubeny a fait, avec raison, observer que, si ces volcans eussent été réellement en activité à l'époque de la conquête par Jules César, ce général qui campa dans les plaines de l'Auvergne et mit le siége devant sa principale ville (Gergovia, près de Clermont), n'aurait pas manqué de signaler le fait des éruptions. Si quelques souvenirs de celles-ci eussent subsisté aux temps de Pline et de Sidoine Apollinaire, le premier de ces anciens auteurs aurait-il omis d'en faire mention dans son *Histoire Naturelle*, et le dernier, d'en dire quelques mots, au moins dans les descriptions de sa province natale? La résidence de ce poëte était située sur les bords du lac Aidat, qui a dû sa formation au barrage d'une rivière par l'un des courants de lave les plus récents (1).

Velay. — Les observations de M. Bertrand de Doue n'ont pas encore établi qu'aucun des plus anciens volcans du Velay ait été en activité pendant la période Éocène. Dans le Velay comme en Auvergne, il existe des lits de gravier recouverts de lave, à différentes hauteurs au-dessus du lit des rivières actuelles. Dans le plus élevé et le plus ancien de ces alluviums, les cailloux roulés sont exclusivement de granit; mais dans les plus récents, que l'on rencontre à des niveaux inférieurs, et qui se sont accumulés après que les vallées eurent été creusées à une grande profondeur, on remarque un mélange de roches volcaniques.

A Saint-Privat d'Allier, le docteur Hibbert a découvert un lit de scories et tuff volcaniques, entre deux coulées de lave basaltique, et, dans le tuff, gisaient des ossements de plusieurs quadrupèdes, dont quelques-uns adhérents à des masses de lave scoriacée. Entre autres animaux, il a distingué les *Rhi-*

(1) Daubeny, *On Volcanos*, p. 14.

noceros leptorhinus, *Hyæna spelæa*, et une espèce voisine de la hyène tachetée du Cap, en même temps que quatre espèces indéterminées de daim. Ce gisement me rappelle les récits qui ont été publiés d'une éruption survenue à Coseguina, 1835, dans l'Amérique centrale ; cette éruption fut accompagnée de cendres et scories qui firent périr un très grand nombre d'oiseaux et animaux sauvages ou domestiques.

Plomb du Cantal. — Quant à l'âge des roches ignées du Cantal, on ne saurait jusqu'à présent rien affirmer avec certitude, sinon qu'elles surmontent les couches lacustres Éocènes (Supérieures?) de ce pays (voy. carte, t. I, p. 311). Elles constituent un énorme dôme dont la pente moyenne n'est que de 4 degrés, et qui, évidemment, comme le cône de l'Etna, n'a pu se former que par une longue série d'éruptions. Il se compose de trachyte, phonolite, lave basaltique, tuffs et conglomérats ou brèches, et s'élève à une hauteur de quelques milliers de mètres. On y voit de nombreux dykes de phonolite, de trachyte et de basalte, spécialement dans le voisinage de la grande cavité (probablement jadis un cratère parfait) autour de laquelle les sommets les plus élevés du Cantal sont rangés circulairement ; quelques-uns de ces sommets, à l'exception du Plomb du Cantal, montent beaucoup au-dessus du bord ou lèvre du cratère supposé. Une éminence pyramidale, nommée le Puy Griou, occupe le milieu de cette cavité (1). Il est clair que le volcan du Cantal s'est ouvert précisément sur l'emplacement du dépôt lacustre que nous avons décrit (t. I, p. 324), lequel a rempli une dépression du micaschiste. Au sein des brèches, même aux points les plus culminants de la montagne, on observe des fragments rejetés de ces lits d'eau douce dont nous avons parlé, et quelquefois aussi de petits blocs de silex contenant des coquilles Éocènes. Les vallées rayonnent dans toutes les directions à partir des hauteurs centrales du mont, et elles augmentent en largeur à mesure qu'elles s'éloignent. Celles

(1) *Mém. de la Soc. géol. de France*, t. I, p. 175.

de Cer et de Jourdanne, qui ont plus de 32 kilomètres de long, sont très profondes, et laissent voir à nu la structure de la montagne. On n'y observe aucune alternance de lave avec les couches non dérangées de l'Éocène ; les tuffs à coquilles d'eau douce y manquent aussi complétement, bien que quelques-uns d'entre eux fournissent des débris fossiles de végétaux terrestres, ce qui paraît impliquer différentes réapparitions de la végétation sur la montagne pendant les intervalles de temps qui ont séparé les grandes éruptions. Au côté septentrional du Plomb du Cantal, à la Vissière, près Murat, se trouve un point, noté sur la carte (t. I, p. 311), où l'on voit les calcaire et marne d'eau douce recouverts d'une épaisseur de 245 mètres environ de roche volcanique ; des failles traversent ces couches de calcaire et de marne (1).

En traitant (chapitre XV) des dépôts lacustres du centre de la France, nous avons établi que, à travers le groupe arénacé et caillouteux qui s'est déposé dans les lacs de l'Auvergne, du Cantal et du Velay, on n'avait jamais découvert de galets volcaniques, bien que des masses de roches ignées en occupent le voisinage immédiat. Comme cette observation repose sur les recherches les plus minutieuses, nous sommes tout à fait en droit d'admettre que les éruptions volcaniques n'avaient point encore commencé lorsque se déposèrent les plus anciennes sous-divisions des groupes d'eau douce.

Dans le Cantal et le Velay, on n'a encore saisi aucune preuve positive d'éruptions ignées survenues pendant le dépôt des couches d'eau douce ; mais on ne saurait toutefois révoquer en doute que quelques explosions volcaniques aient eu lieu en Auvergne avant la mise à sec des lacs, et à l'époque où vivaient les espèces animales et végétales de l'Éocène Supérieur. A Pont-du-Château, près de Clermont, par exemple, une coupe naturelle, sur la rive droite de l'Allier, fait voir des tuffs volcaniques alternant avec un calcaire d'eau

(1) Lyell et Murchison, *Ann. des sc. nat.*, oct. 1829.

douce, lequel, très pur sur quelques points, est mélangé sur d'autres de particules de matière volcanique, comme s'il se fût déposé en même temps que le sable et les scories rejetés par les cratères du voisinage (1).

On observe un autre exemple d'un gisement analogue au Puy de Marmont, près Veyres : une marne d'eau douce alterne avec un tuff volcanique contenant des coquilles Éocènes. Le tuff ou brèche de cette localité est précisément la roche qui résulterait de cendres volcaniques tombant dans l'eau et se mêlant à des fragments de marne ou d'autres roches stratifiées. Ces tuffs et marnes sont fortement inclinés, et traversés par un filon de basalte qui, en s'élevant dans la montagne, se divise en deux branches.

Gergovia. — La colline de Gergovia, près Clermont, fournit un troisième exemple de ces phénomènes. Je crois, avec MM. Dufrénoy et Jobert, qu'il n'y a pas en cet endroit l'al-

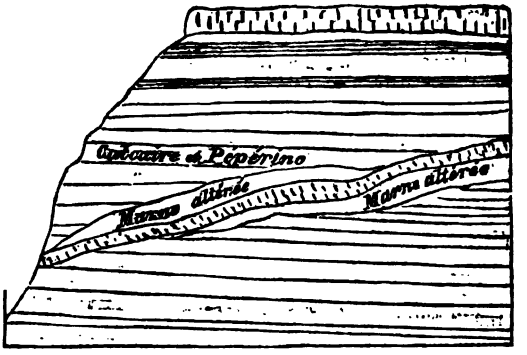


Fig. 678. — Colline de Gergovia.

ternance d'une coulée contemporaine de lave et de couches d'eau douce, que d'autres observateurs ont supposée (2); mais, par leur position et leur contenu, certains tuffs qui sont associés à ces roches résultent évidemment d'éruptions volcaniques survenues pendant le dépôt des couches lacustres.

(1) Scrope, *Central France*, p. 21.
(2) Scrope, *ibid.*, p. 7.

Le pied de la colline est formé de lits légèrement inclinés de marnes blanches et verdâtres, qui mesurent plus de 90 mètres de puissance, et sont traversés par un dyke de basalte que l'on peut étudier dans le ravin au-dessus du village de Merdogne. Ce dyke coupe les couches marneuses sous un angle très ouvert, produisant en général beaucoup d'altération et de confusion jusqu'à une certaine distance du point de contact. Au-dessus des marnes blanches et vertes, on voit une série de couches calcaires et marneuses contenant des coquilles d'eau douce, et alternant avec le tuff volcanique. Dans la partie la plus inférieure de cette division, des lits de marne pure sont interstratifiés avec un tuff compacte, fissile, ressemblant à celui déposé sous l'eau en Italie et en Sicile, que l'on appelle *peperino*. Parfois on distingue des fragments de scories au sein de la roche. Plus haut dans la colline, succède un autre groupe de la même épaisseur, principalement composé de tuff, sur lequel gisent d'autres couches marneuses entremêlées de matière volcanique. Parmi les espèces de coquilles fossiles que j'ai recueillies au sein de ces couches, je citerai la *Melania inquinata*, un *Unio* et un *Melanopsis;* mais elles n'ont pas été suffisantes pour me permettre de déterminer avec précision l'âge de la formation.

Il existe différents points, en Auvergne, où les roches ignées ont été injectées de force par des émissions subséquentes, à travers les argiles et les calcaires marneux, de telle sorte que le tout constitue une sorte de chaos bréchiforme ; entre cette masse confuse et le basalte, on ne découvre quelquefois aucune ligne tranchée de démarcation. Les cavités de la roche sont souvent remplies de calcédoine, de cristaux de mésotype, de stilbite et d'arragonite. Aux formations de cette classe appartient peut-être une des brèches qui avoisinent immédiatement le dyke dans la colline de Gergovia ; mais on ne saurait admettre que le sable volcanique et les scories qui alternent avec les marnes et les calcaires, dans la partie supérieure de cette colline, aient été, comme le dyke, introduits après coup par une force poussant d'en bas.

Ces produits ont dû se déposer comme les sédiments qui tombent au fond des eaux, et sont résultés uniquement d'une action ignée contemporaine de l'accumulation des couches lacustres.

Le lecteur se rappellera que cette conclusion s'accorde très bien avec les preuves que nous avons déduites (chapitre XV) de l'abondance des silex, travertin et gypse déposés avec les couches lacustres supérieures ; car ces roches sont celles précisément que produiraient des eaux de source minérales et thermales.

Période Crétacée. — Bien que nous ne possédions pas de preuves d'éruptions volcaniques survenues en Angleterre pendant le dépôt de la craie et du grès vert, ce serait une erreur de supposer que cette contrée n'a été le théâtre d'aucune action ignée durant la période Crétacée. M. Virlet a clairement démontré qu'en Grèce, certains trapps, qu'il appelle ophiolites, appartiennent à cet âge : tels sont ceux alternant en stratification concordante avec le calcaire crétacé et le grès vert, entre Kastri et Damala en Morée. Ils sont formés en grande partie de roches de diallage et de serpentine, ainsi que d'un amygdaloïde avec noyaux calcaires et pâte de serpentine.

En certaines parties de la Morée, l'âge de ces roches volcaniques se déduit des faits suivants : les calcaires lithographiques de l'ère Crétacée sont traversés par des trapps, et l'on observe à Nauplie et en d'autres lieux un conglomérat contenant, au milieu de son ciment calcaire, plusieurs fossiles bien connus de la craie et du grès vert, en même temps que des galets de la même roche d'ophiolite qui remplit les dykes mentionnés ci-dessus.

Période de l'Oolite et du Lias. — Bien que les trapps verts et serpentineux de Morée appartiennent principalement à l'ère Crétacée, il paraîtrait que certaines éruptions de roches semblables auraient commencé pendant la période Oolitique (1) ; il est probable aussi qu'une grande partie des

(1) Boblaye et Virlet, *Morée*, p. 23.

masses trappéennes appelées ophiolites dans les Apennins, et associées au calcaire de cette chaîne, correspondent au même âge.

Quant à l'origine d'une certaine portion des roches des Hébrides, elle est contemporaine de l'Oolite, que ces roches traversent et recouvrent, comme l'a constaté le professeur E. Forbes, en 1850. Certaines éruptions de Skye, par exemple, ont eu lieu vers la fin de la période Oolitique Moyenne, et avant le commencement de la division Supérieure du même terrain (1).

Trapp de la période du Nouveau Grès Rouge. — Dans la partie méridionale du Devonshire, les masses trappéennes sont associées au Nouveau Grès Rouge, et, suivant Sir H. de la Bèche, au lieu d'avoir pénétré au travers du grès après la formation de cette roche, elles auraient été produites par des actions volcaniques contemporaines. Certains lits de grès grossier, mêlés d'une marne rouge ordinaire, ressemblent à des sables rejetés d'un cratère ; et, dans les conglomérats stratifiés qui se rencontrent près de Tiverton, on remarque de nombreux fragments anguleux de trapp-porphyre, dont quelques-uns pèsent jusqu'à une ou deux tonnes ; ils sont entremêlés de cailloux d'autres roches. Ces fragments anguleux ont probablement été lancés de cratères volcaniques, et sont retombés sur la matière sédimentaire dans le même moment où celle-ci se déposait (2).

Période Carbonifère. — Le docteur Fleming assure avoir constaté deux classes de roches trappéennes, dans le bassin houiller du Forth, en Écosse. La plus récente de ces deux classes, appartenant à la série supérieure du terrain houiller, se voit très bien le long des bords du Forth, dans le Fifeshire, où elle se compose de basalte avec olivine, d'amygdaloïde, greenstone, wacke et tuff. Les roches paraissent avoir été rejetées de volcans, à une époque où les couches étaient

(1) *Geol. Quart. Journ.*, 1831, vol. VII, p. 108.

(2) De la Bèche, *Geol. Proceedings*, vol. II, p. 198.

encore horizontales, et avoir subi ultérieurement les mêmes dislocations que ces couches. Dans les tuffs volcaniques du

FIG. 679. — Roche et Fuseau de Saint-Andrews, vus en 1838.
a. Tuff non stratifié. — *b*. Greenstone colonnaire. — *c*. Tuff stratifié.

même âge, on rencontre non-seulement des fragments de calcaire, de schiste argileux, de schiste siliceux et de grès, mais aussi des morceaux de houille.

L'autre classe plus ancienne de trapps carbonifères longe le bord méridional de Stratheden, et forme une crête parallèle aux Ochils, allant de Stirling jusqu'aux environs de Saint-Andrews. Ces roches sont formées presque exclusivement de greenstone, et deviennent, dans quelques cas, terreuses et amygdaloïdes. Elles sont régulièrement stratifiées avec le grès, le schiste et le minerai de fer des couches houillères les plus inférieures, et, sur le Lomond oriental, avec le Calcaire de Montagne.

J'ai examiné ces roches, en 1838, dans les falaises Sud de Saint-Andrews; ce sont en grande partie des tuffs stratifiés, recourbés et contournés comme les couches de houille concomitantes. J'ai découvert, dans le tuff, des fragments de schiste et de calcaire carbonifère, ainsi que des veines de greenstone traversant le tout. Sur un point situé à 3 kilomètres environ de Saint-Andrews, la vague marine, frappant la base des falaises, a mis à découvert plusieurs masses de trapp, dont l'une (fig. 679) a reçu les noms de *Rock and Spindle* (1) (Quenouille et Fuseau); c'est une sorte de piton que l'on peut effectivement comparer à une quenouille, et, vers sa base, existe une protubérance de greenstone colonnaire, dont les piliers divergent d'un centre et ressemblent, à distance, aux rayons d'une roue. Les plus longs parmi ces piliers ont environ $1^{m},50$, et l'on voit

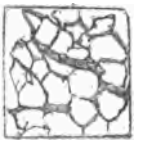


FIG. 680. — Colonnes de greenstone vues à leur extrémité *b* de la figure 679.

distinctement leurs extrémités polygonales autour de la circonférence ou cercle de rotation, comme le montre la figure. Cette masse me paraît l'extrémité d'un nœud ou

(1) *Rock* (rocher) signifie en écossais *quenouille*, comme les lecteurs anglais pourront se le rappeler d'après le poëme de Burn.

veine de greenstone qui a pénétré le tuff. Les prismes pointent dans toutes les directions, car la surface entière fut autrefois soumise à un refroidissement simultané, et les polyèdres, dans ces cas, se disposent toujours perpendiculairement aux surfaces, comme nous l'avons fait voir précédemment (t. II, p. 258).

Le docteur Fleming m'a fait remarquer dans la paroisse de Flisk, région Nord du comté de Fife, un dyke de trapp coupant les grès et schistes gris qui constituent la partie la plus inférieure du Vieux Grès Rouge. On peut suivre, sur une longueur de plusieurs kilomètres, ce dyke traversant le trapp amygdaloïde et autres trapps de la colline appelée Norman's Law. Il présente, dans son cours, une bonne illustration du passage de la texture trappéenne à la structure plutonique ou fortement cristalline. Le professeur G. Rose, à qui j'ai soumis des échantillons de ce dyke, les a rapportés à la roche de dolérite ; ils consistent en augite d'un noir verdâtre et feldspath Labrador, ce dernier minéral plus abondant que l'autre. On y trouve aussi une petite quantité de fer magnétique, peut-être titanifère. Le résultat de cette analyse est intéressant, car les laves anciennes et modernes de l'Etna sont toutes également composées d'augite, de labradorite et de fer titanifère.

Trapp de la période du Vieux Grès Rouge. — Si l'on se reporte à la coupe montrant la structure du Forfarshire, que nous avons donnée (t. I, p. 79), on verra que les lits de conglomérat, n° 3, occupent le niveau moyen du système du Vieux Grès Rouge, 1, 2, 3, 4. Tantôt les cailloux roulés de ce conglomérat sont composés des roches granitiques et quartzeuses, tantôt ils consistent exclusivement en diverses variétés de trapp, lesquelles, bien qu'omises à dessein dans la coupe, ne laissent pas que de se rencontrer souvent en masses amorphes ou en dykes parcourant les vieux tilestones fossilifères n° 4, ou alternant avec eux en stratification concordante. Toutes les divisions du Grès Rouge, 1, 2, 3, 4, sont parfois pénétrées par des dykes, mais ceux-ci sont rares dans les

nos 1 et 2, les membres supérieurs du groupe consistant en schiste rouge et grès de la même couleur. Ces phénomènes, que l'on observe au pied des Grampians, se présentent encore dans les collines de Sidlaw; et il semble que, dans cette partie de l'Écosse, les éruptions volcaniques ont été plus fréquentes que dans la division plus ancienne de la période du Vieux Grès Rouge.

Les roches trappéennes dont il s'agit consistent principalement en porphyre feldspathique et en amygdaloïde dont les noyaux sont quelquefois calcaires, souvent calcédonieux, et fournissent de magnifiques agates. On y rencontre aussi des claystone (argilolite), phonolite, greenstone, feldspath compacte et tuff. Certaines d'entre elles ont coulé à la manière des laves sur le fond de la mer, et ont enveloppé des galets de quartz qu'elles ont rencontrés sur leur passage, de manière à donner naissance à des conglomérats à pâte de greenstone, dont on voit un exemple à Lumley Den, collines Sidlaw. De chaque côté de l'axe de cette chaîne de collines (voy. coupe, t. I, p. 79), les lits de trapp massif et les tuffs composés de sable et cendres volcaniques plongent régulièrement au Sud-Est ou au Nord-Ouest, comme les schistes et les grès.

Période Silurienne. — Il résulterait de recherches faites dans le Shropshire par Sir R. Murchison, que, durant la période du dépôt des couches du Silurien Inférieur, de fréquentes éruptions volcaniques auraient eu lieu sur le fond de la mer; les cendres et scories rejetées auraient donné naissance à une sorte particulière de grès ou grit tuffacé, différant des autres roches de la série silurienne, et existant seulement sur les points où sont sorties les roches syénitiques et autres masses trappéennes. Ces tuffs se rencontrent sur les flancs du Wrekin et du Caer Caradoc, et contiennent des fossiles Siluriens tels que moules d'encrines, trilobites et mollusques. Bien que fossilifères, ils ressemblent à une argilolite (*claystone*) sableuse de la famille des Trapps (1).

(1) Murchison, *Silurian System*, etc., p. 230.

Des bandes de trapp, de quelques centimètres d'épaisseur, alternent, en certains endroits des comtés de Shrop et de Montgomery, avec des couches sédimentaires du système Silurien Inférieur. Le trapp consiste en porphyre schistoïde et feldspath cristallin, dont les lits sont traversés de fissures semblables à celles que présentent aussi les grès, calcaire et schiste concomitants, et plongent sous le même angle et avec la même direction (1).

Dans le Radnorshire, on remarque douze bandes de trapp stratifié, alternant avec des schistes et ardoises, sur une épaisseur de 116 mètres. Les lits de trapp consistent en porphyre feldspathique, phonolite et autres variétés ; les Llandeilo flags se composent de grès et schiste avec trilobites et graptolites (2).

Roches volcaniques Cambriennes. — Dans l'un des chapitres précédents (chap. XXVII, t. II, p. 199), nous avons vu qu'au-dessous des lits de Llandeilo et de Bala, appartenant au Silurien Inférieur, on rencontre, dans la Galles du Nord, une série de roches d'une vaste épaisseur, à laquelle on peut donner le nom de Cambrien. La sous-division supérieure, que le professeur Sedgwick a nommée le *Festiniog Group*, comprend d'abord : les Arenig Slates, de 2,135 mètres de puissance, de la Galles du Nord ; au milieu de ces lits, sont d'énormes masses de porphyre, de trapp-conglomérat et autres roches ignées, que le professeur Sedgwick suppose avoir été engendrées à la même époque ; — ensuite, les Lingula Flags, plus inférieurs, et dont nous avons énuméré les fossiles, t. I, p. 201 ; — en troisième lieu, à un niveau plus inférieur encore, le groupe de Bangor ou Cambrien Inférieur, où se rencontrent des bandes de porphyre feldspathique. Ces dernières, suivant l'opinion du professeur Ramsay, seraient des roches d'intrusion, et n'appartiendraient pas au même âge que les dépôts sédimentaires qui leur sont associés.

(1) Murchison, *Silurian System*, etc., p. 272.
(2) *Ibid.*, p. 323.

Le professeur Sedgwick a décrit aussi, dans son *Précis sur la Géologie du Cumberland*, diverses roches trappéennes accompagnant des schistes verts (phyllades) qui ressemblent, pour le caractère minéral et l'aspect, aux Arenig Slates, et gisent au-dessous de toutes les couches fossilifères du Cumberland ; ces roches trappéennes sont de nature feldspathique et porphyritique ; ce sont aussi des greenstones, et elles se présentent non-seulement en dykes, mais encore en lits concordants. Parfois on remarque un passage des roches ignées aux schistes verts quartzeux. On suppose que ces masses porphyritiques ont été produites, en même temps que les schistes chloritiques, par des éruptions sous-marines souvent répétées ; les éléments dont les schistes eux-mêmes sont composés proviendraient, en partie du moins, de la même source (1).

(1) *Geol. Trans.*, 2e série, vol. IV, p. 55.

CHAPITRE XXXIII.

ROCHES PLUTONIQUES. — GRANIT.

Facies général du granit. — Sa décomposition en masses sphériques. — Structure grossièrement colonnaire. — Analogies et différences entre les formations volcaniques et plutoniques. — Minéraux dans le granit, et leur disposition. — Granit graphique et porphyritique. — Pénétration mutuelle de cristaux de quartz et de feldspath. — Minéraux accidentels. — Syénite. — Granits syénitique, talqueux et tourmalinifère (*schorly granit*). — Eurite. — Passage du granit au trapp. — Exemples de ce phénomène aux environs de Christiania, et dans le comté d'Aberdeen. — Analogie de composition entre le trachyte et le granit. — Veines de granit en Glen Tilt, Cornouailles, à Valorsine et en d'autres localités. — Composition différente des veines, comparée à celle de la masse principale de granit. — Filons dans les couches à leur jonction avec le granit. — Nœuds de granit, en apparence isolés. — Veines de quartz. — Les roches Plutoniques sont-elles quelquefois superposées à d'autres roches ? — L'exposition de leur surface est due à la dénudation.

Après les roches Volcaniques, on peut traiter des roches Plutoniques, car ces deux classes ont entre elles les plus étroits rapports. J'ai déjà parlé des dernières comme constituant la portion non stratifiée des formations cristallines ou hypogènes, et j'ai dit qu'elles différaient des roches Volcaniques, non-seulement par leur texture plus cristalline, mais encore par l'absence de tuffs et brèches, qui sont le résultat d'éruptions produites à ciel ouvert ou sous la mer à des profondeurs peu considérables. Elles diffèrent aussi par l'absence de ces pores ou cavités cellulaires auxquelles l'expansion des gaz, d'abord emprisonnés, a donné lieu au sein des laves ordinaires. D'après ces particularités et d'autres encore, on peut conclure que les granits se sont formés à de grandes profondeurs de la terre, qu'ils se sont refroidis et ont cristallisé lentement sous une pression puissante qui n'a point permis aux gaz de s'échapper. Les roches volcaniques, au contraire, bien que généralement venues

d'en bas, ont subi un refroidissement beaucoup plus rapide, et toujours à la surface ou près de la surface du sol. C'est donc d'après l'hypothèse que les granits auraient été engendrés à une vaste profondeur, qu'on leur a donné le nom de *roches Plutoniques*. L'élève géologue comprendra aisément que l'influence de la chaleur doive continuer et s'étendre à partir du foyer de tout cratère en activité jusqu'à une distance qui peut atteindre plusieurs kilomètres ; il lui sera facile aussi d'estimer jusqu'à quel point devront être différents les effets qui, sous cette influence, se produiront dans les entrailles de la terre ; il pourra sans peine se faire une idée de la manière dont les roches volcaniques et plutoniques, quoique dissemblables par leur texture et quelquefois même par leur composition, se formeront cependant simultanément, les unes à la surface, et les autres à de très grandes profondeurs.

Granit. — Certains auteurs ont compris toutes les masses dont il s'agit ici sous une dénomination unique, celle de Granit, laquelle embrasse dès lors une nombreuse famille de roches cristallines et composées, gisant ordinairement au-dessous de toutes les autres formations ; par opposé, nous avons vu le trapp recouvrir très fréquemment des couches de

FIG. 681. — Amas granitiques, près Sharp Tor, Cornouailles.

différents âges. Le granit conserve souvent un caractère très uniforme sur une large étendue de pays, constituant des élévations d'une forme arrondie, particulière, ordinairement recouvertes d'une chétive végétation. La surface en est généralement à l'état de décomposition et de ruine ; les collines sont surmontées de monceaux de pierres semblables à

des débris d'une masse stratifiée, comme on le voit dans la figure ci-dessus, et quelquefois analogues à des amas de blocs de transport, avec lesquels on les a, dans certains cas, confondus. Ces pierres, d'abord anguleuses, acquièrent insensiblement une forme arrondie, par l'action de l'air et du temps, car leurs bords et leurs angles s'émoussent plus rapidement que le milieu des faces. Nous avons déjà décrit une structure sphérique semblable comme caractéristique du basalte et d'autres formations volcaniques; il faut la rapporter à des causes analogues, jusqu'à présent encore peu connues.

Bien que ce soit une des particularités du granit de ne prendre aucune forme définie, cette roche, cependant, se trouve parfois traversée de fissures, de manière à affecter une structure cuboïde ou même colonnaire ; on observe des

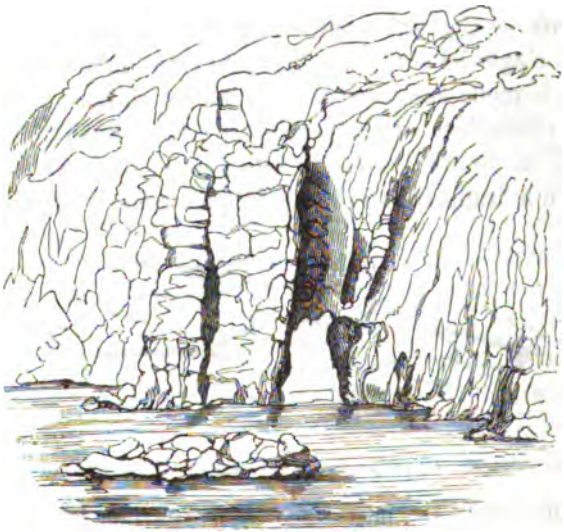


FIG. 682. — Granit à structure cuboïde et véritablement colonnaire; Land's End, Cornouailles.

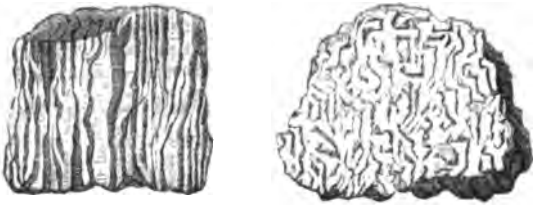
exemples de ce phénomène près de Land's End, dans le Cornouailles (fig. 682).

Les formations plutoniques ont également cela de com-

mun avec les formations volcaniques, que des veines ou ramifications partant de la masse centrale les parcourent dans diverses directions, ainsi que les roches qui les accompagnent, et produisent dans ces dernières des altérations que nous allons décrire. Elles offrent aussi de l'analogie avec les trapps par l'absence de débris organiques ; mais elles en diffèrent par leur plus grande uniformité de texture ; des masses entières de roches plutoniques, d'une étendue indéfinie, paraissent avoir été produites dans les conditions les plus uniformes. Elles s'en éloignent aussi en ce qu'elles ne sont jamais scoriacées, ni amygdalaires, et ne forment pas de porphyres à pâte non cristalline, ou n'alternent nulle part avec des tuffs. Enfin elles ne forment jamais de conglomérats, bien que présentant quelquefois un passage de l'état de granit à gros grains à celui de granit à petits grains, et d'autres fois, contenant de petites masses à texture fine empâtées dans une variété plus grossière.

On considère habituellement le feldspath, quartz et mica, comme minéraux essentiels du granit ; le feldspath est le plus abondant des trois, et la proportion du quartz dépasse celle du mica. Ces minéraux sont réunis par ce qu'on appelle une cristallisation confuse : c'est-à-dire que les cristaux ne présentent pas, à travers la roche, des dispositions régulières comme dans le gneiss (fig. 704, t. II, p. 422). Cependant

Fig. 683. Fig. 684.



Granit graphique.
Fig. 683. — Coupe parallèle aux lames.
Fig. 684. — Coupe perpendiculaire aux lames.

la variété dite *granit graphique*, qui se rencontre d'ordinaire en veines dans le granit commun, offre une certaine régu-

larité. Le granit graphique est un composé de feldspath et de quartz, à structure imparfaitement laminaire. Les cristaux de feldspath paraissent avoir été les premiers formés, laissant entre eux des espaces occupés aujourd'hui par un quartz de couleur foncée. Ce dernier, lorsqu'on partage l'échantillon perpendiculairement aux plaques alternantes des deux minéraux, montre des lignes brisées que l'on a comparées à des caractères hébraïques. La variété de granit à laquelle les Français donnent le nom de *Pegmatite*, et qui est un mélange de quartz et de feldspath commun, habituellement avec lamelles de mica blanc-d'argent, passe souvent au granit graphique.

En règle générale, le quartz à l'état compacte ou amorphe constitue une masse vitreuse servant de pâte dans laquelle le feldspath et le mica ont cristallisé ; car, bien que ces minéraux soient beaucoup plus fusibles que la silice, ils ont souvent imprimé leur forme sur le quartz. Ce fait, qui paraît au premier abord un paradoxe, a donné lieu à diverses explications ingénieuses. On aurait pu naturellement supposer que, pendant le refroidissement de la masse, la portion siliceuse aurait été la première à se consolider, et que les différentes variétés de feldspath, de même que les grenats et les tourmalines, plus facilement fusibles, auraient été les dernières à subir cette transformation. C'est l'inverse qui a eu lieu : des cristaux de minéraux plus fusibles se sont trouvés enveloppés dans un quartz aujourd'hui dur, transparent et vitreux, qui souvent a pris l'empreinte la plus délicate de leur forme extérieure, a reproduit, par exemple, jusqu'aux stries les plus fines de la surface des tourmalines. Différentes interprétations de ce phénomène ont été successivement proposées par MM. Élie de Beaumont, Fournet et Durocher. Ces savants en ont référé d'abord aux expériences de M. Gaudin sur la fusion du quartz, expériences démontrant que la silice, en se refroidissant, possède la propriété de rester visqueuse, tandis que ce n'est jamais le cas pour l'alumine. On admet que la *silice gélatineuse* conserve, à un degré remarquable,

son état de plasticité très longtemps après que la température du mélange granitique a baissé ; M. Élie de Beaumont, de son côté, pense que l'action électrique a été pour quelque chose dans le maintien de la viscosité de la silice. Parfois, cependant, on rencontre le quartz et le feldspath se communiquant mutuellement leurs formes, ce qui prouve une cristallisation simultanée des deux minéraux (1).

Le granit ordinaire, de même que la syénite et l'eurite, contient habituellement deux sortes de feldspath : 1° le feldspath commun, ou orthose, dans lequel la potasse est l'alcali dominant ; cette espèce minérale se rencontre généralement, dans la roche, en gros cristaux d'une couleur blanche ou rose de chair ; 2° un feldspath en petits cristaux, chez lequel prévaut la soude ; il est ordinairement d'un blanc sale ou tacheté; il est strié comme l'albite, mais d'une composition différente (2).

Granit porphyroïde. — On a souvent donné ce nom à la variété de granit dans laquelle de gros cristaux de feldspath commun, ayant parfois plus de $0^m,075$ de long, sont disséminés au travers d'une pâte ordinaire de granit. La figure 685

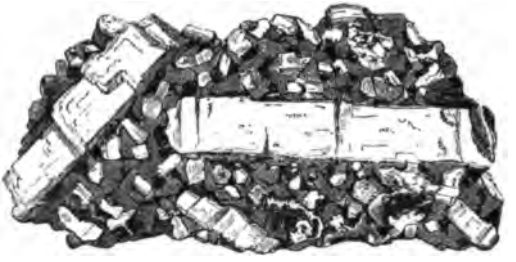


FIG. 685. — Granit porphyrique ; Land's End, Cornouailles.

nous montre un exemple de cette texture telle que l'a fournie un granit de Land's End en Cornouailles. Les deux plus gros cristaux prismatiques de l'échantillon sont du feldspath ;

(1) *Bulletin de la Société Géologique de France*, 2e série, IV, p. 1304 ; et d'Archiac, *Histoire des progrès de la Géologie*, I, p. 38.

(2) Delesse, *Ann. des mines*, 1852, t. III, p. 408, et 1848, t. XIII, p. 675.

on aperçoit de plus petits cristaux répandus dans la pâte. A travers celle-ci apparaissent aussi des paillettes noires de mica, dont le contour est un hexagone plus ou moins net. Le reste de la masse se compose de quartz d'une translucidité qui contraste fortement avec l'opacité du feldspath blanc et du mica noir. Mais la gravure n'a pu rendre ni la transparence du quartz, ni l'éclat argentin du mica.

Le caractère minéral uniforme de vastes masses de granit semble indiquer que d'énormes quantités d'éléments composants furent mêlées intimement, et cristallisèrent ensuite dans des conditions exactement semblables. Cependant, le granit peut renfermer divers minéraux autres que les précédents, mais purement accidentels. On cite, en particulier, la tourmaline ou schorl noir, l'actinolite, le zircon, le grenat et le spath fluor ; mais ces minéraux sont trop rares dans la roche pour en modifier l'aspect général. Leur présence montre néanmoins que les ingrédients ne furent pas partout précisément les mêmes ; et de plus grandes variations encore se font remarquer entre les proportions relatives du feldspath, du quartz et du mica.

Syénite. — Lorsque le hornblende (1) remplace le mica, ce qui arrive fréquemment, la roche devient une Syénite, ainsi nommée d'après d'anciennes carrières très célèbres desquelles on l'a extraite aux environs de Sienne en Égypte. A moins qu'on ne l'examine de près, la syénite conserve toute l'apparence d'un granit ordinaire ; de plus, elle appartient incontestablement, comme membre géologique, à la même famille de roches plutoniques que le granit. Toutefois, après avoir conservé un caractère essentiellement granitique sur de vastes étendues, elle finit assez souvent par perdre son quartz, et passe alors insensiblement à un greenstone syénitique, roche de la famille des trapps. Werner a considéré la syénite comme un composé binaire de

(1) L'une des divisions de l'amphibole, de couleur vert foncé.
(*Note du traducteur.*)

feldspath et de hornblende, et a regardé le quartz comme simple minéral accidentel dans cette roche.

Granit syénitique. — On a désigné sous ce nom un composé quadruple de quartz, feldspath, mica et hornblende. Cette roche se rencontre en Écosse et dans l'île de Guernesey.

Granit talqueux (ou Protogyne des Français). — C'est un mélange de feldspath, quartz et talc. Il abonde dans les Alpes et en quelques parties du Cornouailles où il produit, par sa décomposition, le kaolin (*China clay*), dont on exporte annuellement plus de 12 000 tonnes pour la fabrication des poteries (1).

Schorl rock (roche de Tourmaline), et *Granit tourmalinifère.* — La première de ces roches est un agrégat de schorl ou tourmaline et de quartz. Lorsque le feldspath et le mica s'y ajoutent, elle passe au granit tourmalinifère. Cette dernière variété est comparativement rare.

Eurite. — Roche dans laquelle les éléments du granit sont disséminés au sein d'une pâte à grain très fin. Lorsque cette roche est très cristalline, on aperçoit, parmi la masse, des cristaux de quartz, mica, feldspath commun et feldspath à soude. Parfois le mica manque, et le feldspath commun domine de manière à donner une couleur blanche ; alors l'eurite devient un granit feldspathique, *Weisstein* de Werner, *Whitestone* des Anglais, *Leptynite* des Français ; on distingue souvent, dans l'ensemble, des cristaux microscopiques de grenat.

Toutes ces variétés de granit passent à certaines espèces de trapp, circonstance qui fournit l'un des arguments sur lesquels repose l'hypothèse aujourd'hui en faveur, de l'origine ignée des granits. Le contraste entre la forme la plus cristalline de ces roches et celle du trapp le plus ordinaire ou terreux est incontestablement très prononcé ; mais chaque membre de la classe des produits volcaniques peut devenir

(1) Boase, *On Primary Geology*, p. 16.

un porphyre, comme aussi la pâte du porphyre est souvent cristalline au point de passer à une sorte de granit, avec lequel, du reste, elle montre beaucoup d'analogie pour sa composition minérale.

Les minéraux qui constituent à la fois les roches granitiques et volcaniques sont composés presque exclusivement de sept éléments : silice, alumine, magnésie, chaux, soude, potasse et fer (voy. tableau, t. II, p. 245) ; ces éléments peuvent se rencontrer les mêmes, en proportions identiques, dans une lave poreuse, un trapp compacte ou bien un granit cristallin. On découvrira peut-être par un examen plus attentif (car il reste encore beaucoup à apprendre sur ce sujet) que la réunion de tels éléments en certaines proportions favorise davantage que telle autre une structure cristalline ou nettement granitique ; l'expérience prouve d'ailleurs que des matériaux semblables ont la propriété de former, suivant les circonstances, des roches très différentes. La même lave est tantôt vitreuse et tantôt scoriacée, ici compacte, là porphyritique, etc., suivant la rapidité du refroidissement ; et certains trachytes ou greenstones syénitiques auraient sans aucun doute produit des granits et des syénites, s'ils avaient cristallisé lentement.

On a supposé aussi que la nature particulière et la structure du granit s'expliquaient par une circonstance spéciale : la roche aurait retenu l'eau que l'on voit s'échapper des laves se refroidissant lentement et se consolidant à l'air. Les expériences de Boutigny ont démontré que l'eau contenue dans une matière fondue, à la température du rouge blanc, ne peut se vaporiser avant l'abaissement préalable de cette température. De telles découvertes, si elles n'expliquent pas la manière dont se sont formés les granits, servent du moins à nous rappeler la différence complète des conditions qui ont présidé à la production des roches plutoniques et volcaniques (1).

(1) E. de Beaumont, *Bull. Soc. Géol.*, vol. IV, 2e série, p. 1318 et 1320.

Il serait facile d'ajouter ici encore bien d'autres exemples, et de multiplier les noms des autorités scientifiques, pour prouver le passage du granit aux roches trappéennes. Sur la côte occidentale du Fiord de Christiania, en Norwége, il existe une large étendue de trapp consistant principalement en greenstone-porphyre et greenstone syénitique qui reposent sur des couches fossilifères. A ces roches, vers la limite méridionale, succède un espace également très vaste de syénite; le passage de la roche volcanique à la masse plutonique est tellement graduel, qu'il est impossible de tracer une ligne de démarcation entre les deux.

« Le granit ordinaire du comté d'Aberdeen, dit le docteur Mac-Culloch, est le composé ternaire habituel de quartz, feldspath et mica; mais parfois le hornblende remplace ce dernier minéral. En certains endroits se présente une variété formée seulement de feldspath et hornblende; un examen plus attentif de ce mélange des deux éléments fait apercevoir sur quelques points une structure à grains ténus, et la roche finit par ne plus se distinguer des vrais greenstones de la famille des trapps. La même roche passe aussi d'une manière non moins graduelle à un basalte; elle finit par une argilolite friable qui montre de la tendance à la fissilité dans sa surface exposée à l'air. Tous ces caractères ne diffèrent point de ceux que nous avons remarqués dans les îles de trapp de la côte occidentale. » Le même auteur fait mention d'un granit composé de hornblende, mica, feldspath et quartz, qui, aux Shetland, passe aussi par une transition insensible au basalte (1).

On connaît en Hongrie des variétés de trachyte d'origine géologiquement moderne; des cristaux non-seulement de mica, mais encore de quartz, y sont communs, ainsi que du feldspath et du hornblende. Il est facile de concevoir comment de telles masses volcaniques peuvent, à une certaine distance de la surface, passer au granit.

(1) *Syst. of Geol.*, vol. I, p. 157 et 158.

J'ai déjà essayé de faire ressortir l'étroite analogie qui existe entre les formes de certaines veines granitiques et celles de quelques bandes trappéennes ; les couches traversées par les roches plutoniques ont subi des changements très semblables à ceux que montrent à la jonction les dykes volcaniques. On voit en Glen Tilt (Écosse) des exemples où des couches alternantes de calcaire et de schiste argileux sont en contact avec une masse de granit. Le contact ne se présente pas tel qu'il devrait être si le granit fût sorti avant le dépôt des couches (et, dans ce cas, la figure 686 eût bien représenté la véritable coupe) ; mais l'union s'est faite ainsi qu'on le voit (fig. 687) : la ligne ondulée de granit touche à différentes couches, et quelquefois pénètre, sous forme de

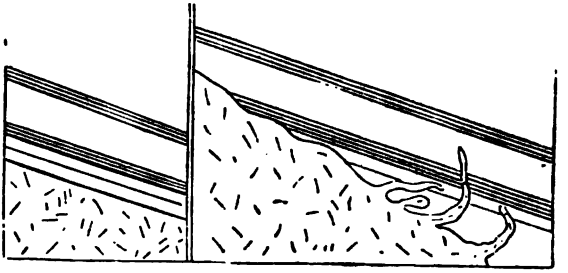


FIG. 686. FIG. 687. — Jonction du granit au schiste argileux, dans le Glen Tilt (Mac-Culloch) (1).

veines tortueuses, au travers de lits de schiste argileux et de calcaire, dont elle diffère complétement par sa composition. Le calcaire a parfois changé de caractère au voisinage de la masse granitique ou de ses veines ; il a acquis une structure plus compacte, semblable à celle du chert ou du hornstone, et, en même temps, une cassure esquilleuse ; il ne fait plus que faiblement effervescence dans les acides.

Le diagramme ci-dessous (fig. 688) retrace un autre point de jonction que l'on observe dans le même district : le granit envoie ici des ramifications si nombreuses, que le calcaire et

(1) *Geol. Trans.*, 1re série, vol. III, pl. 21.

le schiste en sont comme réticulés ; les veines diminuent, vers leur terminaison, jusqu'à devenir aussi minces qu'une feuille de papier. En quelques points, on croit apercevoir des fragments de granit disséminés dans le calcaire, et l'on

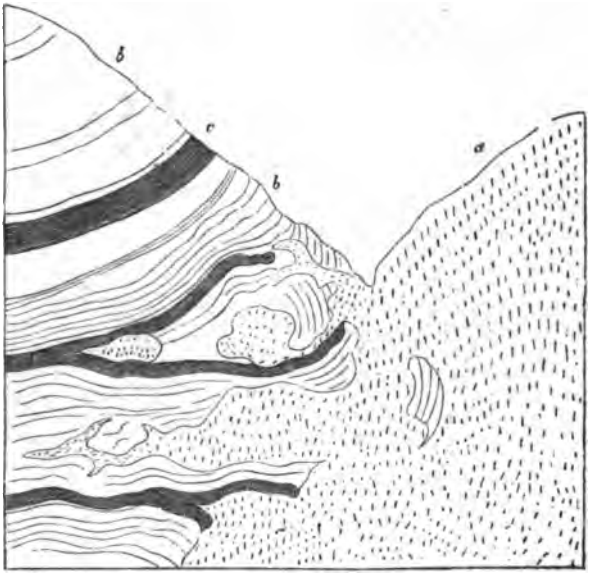


FIG. 688. — Jonction du granit au calcaire, dans le Glen Tilt (Mac-Culloch).
a. Granit. — *b*. Calcaire. — *c*. Schiste argileux, bleu.

ne distingue aucune liaison entre ces fragments et d'autres masses plus considérables de la même roche ; dans d'autres cas, au contraire, ce sont des lambeaux de calcaire que l'on voit enclavés au milieu du granit. La couleur ordinaire du calcaire de Glen Tilt est le bleu de plomb ; sa texture est à gros grains et très cristalline ; mais, à mesure qu'il s'approche du granit, particulièrement aux endroits où il est pénétré de veines de plus en plus petites, la texture cristalline disparaît pour faire place à une autre qui est exactement celle du hornstone (*petrosilex*). Le schiste argileux qui lui est associé passe souvent à un schiste amphibolique, en arrivant très près du granit (1).

(1) Mac-Culloch, *Geol. Trans.*, vol. III, p. 259.

Dans cet exemple et divers autres, la conversion du calcaire en roche siliceuse ne faisant plus qu'une effervescence lente dans les acides serait difficile à expliquer, si l'on n'avait la certitude qu'en raison des particules de quartz, mica ou feldspath qu'ils contiennent, ces calcaires sont toujours impurs. Il est probable que les éléments de ces minéraux, dès que la roche a été soumise à une forte chaleur, ont été fondus, et se sont, par suite, répandus plus uniformément au travers de la masse.

Dans les roches plutoniques comme au sein des produits volcaniques, la matière injectée présente toute espèce de forme, depuis la veine tortueuse jusqu'au dyke le plus régulier, le plus analogue à ceux qui coupent les tuffs et laves du Vésuve et de l'Etna. On peut voir, entre autres exemples, des dykes de granit sur le côté méridional du mont Battock, l'un des Grampians ; les parois opposées de ces bandes injectées y conservent quelquefois un parallélisme exact sur une longueur considérable.

En général, cependant, les veines de granit se montrent,

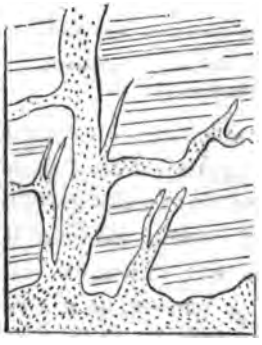


Fig. 689. — Veines de granit traversant le schiste argileux. Montagne de la Table, cap de Bonne-Espér. (1).

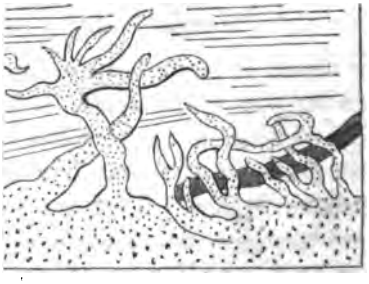


Fig. 690. — Veines de granit pénétrant dans le gneiss. cap Wrath (Mac Culloch.) (2).

sur tous les points du globe, plus sinueuses que celles de trapp. C'est le genre de forme qu'elles présentent à la pointe

(1) Cap. B. Hall, *Trans. Roy. Soc. Edinb.*, vol. VII.

(2) *Western Islands*, pl. 31.

la plus septentrionale de l'Écosse comme à l'extrémité la plus méridionale de l'Afrique, ainsi qu'on le voit par les dessins suivants.

Il n'est pas rare d'observer deux systèmes de veines granitiques se coupant l'un l'autre ; quelquefois même on en distingue jusqu'à trois parfaitement distincts, par exemple aux environs de Heidelberg, sur les rives du Necker. Dans cette contrée, la roche fournit trois variétés qui diffèrent entre elles par la couleur, le grain et diverses particularités de composition minérale. L'un des groupes, évidemment le second pour l'âge, croise un granit plus ancien ; un troisième, plus nouveau, passe au travers des deux précédents.

Dans l'île Shetland, on remarque deux sortes de granit, l'un composé de hornblende, mica, feldspath et quartz, de couleur foncée, et inférieur au gneiss ; l'autre, rouge, et pénétrant le précédent, sous forme de rameaux, dans toutes les directions (1).

Les figures 690 et 691 montrent la manière dont les veines de granit se ramifient et se coupent les unes les autres. Elles représentent aussi la manière dont, au cap Wrath dans le

FIG. 691. — Veines de granit coupant le gneiss, au cap Wrath en Écosse (Mac-Culloch).

comté de Sutherland, le gneiss est traversé par des bandes de la roche plutonique. La couleur de ces bandes contraste fortement avec celle du schiste amphibolique associé au gneiss, et rend le phénomène très remarquable.

(1) Mac-Culloch, *Syst. of Geol.*, vol, I, p. 58.

Les veines de granit ont ordinairement subi une certaine altération dans leur composition minérale, et leur texture est généralement plus fine que celle de la roche dont elles émanent. Ainsi, comme l'observe le professeur Sedgwick, la masse principale de granit, en Cornouailles, est un agrégat de mica, quartz et feldspath ; mais les veines sont quelquefois dépourvues de mica, et n'offrent qu'une association grenue de quartz et de feldspath. Dans d'autres variétés, le quartz domine à l'exclusion presque absolue du feldspath et du mica : sur d'autres points, le mica et le quartz disparaissent totalement, et la veine n'est plus composée que de feldspath grenu (1).

La figure 692 représente un groupe de veines granitiques dans le Cornouailles ; elle a été donnée par MM. Von Oeyn-

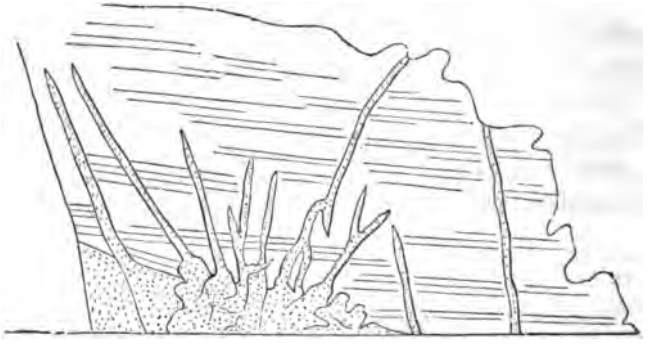


FIG. 692. — Veines de granit passant au travers du schiste amphibolique ; Carnsilver Cove, Cornouailles.

hausen et Von Dechen (2). La masse principale de granit offre ici une apparence porphyroïde, et contient de gros cristaux de feldspath ; mais les veines sont à grains fins et dépourvues de cristaux de ce genre. Elles mesurent en moyenne de 5 à 6 mètres, et quelquefois plus.

En Valorsine, vallée proche du Mont-Blanc (Savoie), un granit ordinaire, composé de feldspath, quartz et mica, en-

(1) *On the Geol. of Cornwall*, Camb. Trans., vol. I, p. 124.

(2) *Philos. Magaz.* et *Annals*, n° 27, nouv. série, mars 1829.

voie, dans différentes directions, des veines au travers d'un gneiss talqueux (ou protogyne stratifiée) ; sur quelques points, des ramifications latérales partent à angle droit du filon principal (fig. 693) ; les veines, spécialement les plus petites, sont à éléments plus ténus que la masse de granit.

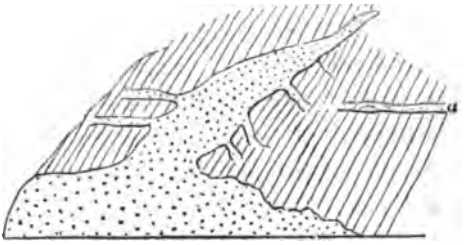


FIG. 693. — Veines de granit dans le gneiss talqueux (L.-A. Necker).

Il faut observer qu'ici le schiste et le granit, à mesure qu'ils se rapprochent l'un de l'autre, semblent se communiquer une réciproque influence, car tous deux subissent des changements dans leur caractère minéral. Le granit, sans être stratifié, contient déjà quelques particules vertes, et le gneiss talqueux acquiert une structure granitoïde sans perdre sa stratification (1).

Le professeur Keilhau m'a signalé, dans la contrée de Christiania, plusieurs localités où le caractère minéral du gneiss semble avoir été affecté, jusqu'à une certaine distance du point de contact, par un granit d'origine plus récente ; le gneiss, sans avoir perdu sa structure schistoïde, s'est chargé d'une quantité considérable d'un feldspath plus rouge que le minéral du même nom qui caractérise le gneiss de Norwége.

Le granit, la syénite et les porphyres à structure granitoïde, toutes les roches plutoniques, en un mot, contiennent souvent des métaux à leur point de jonction avec les formations stratifiées, ou près de ce point. D'un autre côté,

(1) Necker, *Sur la vallée de Valorsine* (*Mém. de la Soc. de Phys. de Genève*, 1828). J'ai visité, en 1832, la localité que représente la figure 693.

les veines qui parcourent les roches stratifiées sont généralement plus métallifères au contact que partout ailleurs. On en a conclu que les métaux avaient pénétré, sous forme gazeuse, les masses fondues, et que le contact d'une roche différente, à une température également dissemblable, ou, quelquefois, l'existence de fissures dans d'autres roches du voisinage, avaient déterminé la sublimation des métaux (1).

On observe à Markerud, près de Christiania, en Norwége, divers cas où la direction des couches n'a point été, même sur de vastes surfaces, dérangée par l'introduction du granit massif ou veineux. Certains géologues ont considéré ce fait comme militant en faveur de la théorie de l'injection du granit à un état fluide. Mais on peut répondre que des dykes ramifiés de trapp, que l'on considère presque tous aujourd'hui comme ayant jadis été fluides, traversent les mêmes couches fossilifères, près de Christiania, sans troubler leur direction ni leur plongement (2).

Quelques auteurs ont pensé que l'isolement réel ou apparent de grosses ou de petites masses de granit détachées du corps principal, que l'on voit en *a*, *b*, figure 694, ou ci-dessus, figure 688, et en *a*, figure 693, est incompatible avec la

Fig. 694. — Vue générale de la jonction du granit et du schiste cristallin, en Valorsine (L.-A. Necker).

doctrine que nous développons en ce moment sur les veines. Nous répondrons que plusieurs de ces masses enclavées ne sont, en réalité, que des sections transversales de prolonge-

(1) Necker, *Proceed. of Geol. Soc.*, n° 26, p. 392.
(2) Keilhau, *Gæa Norvegica*. Christiania, 1838.

ments radiculaires du granit ; toutefois, il se peut que d'autres de ces masses soient véritablement des portions détachées de roches à structure plutonique ; ou bien aussi forment-elles comme des sortes de taches au milieu des couches envahies, sur les points où existèrent des concentrations de matières plus fusibles que le reste de la pâte, et jouissant d'une plus grande aptitude à se combiner sous la forme du granit.

Le granit, de même que diverses roches stratifiées, se montre souvent traversé de veines de quartz pur, mais on ne saurait suivre ces veines comme celles de granit ou de trapp jusqu'aux masses dont elles dépendent. Elles furent simplement, autrefois, des fentes que vint remplir de la matière siliceuse. L'infiltration, dans quelques cas, s'est évidemment opérée après la consolidation de la roche contenante. Par exemple, j'ai observé dans le gneiss de Tronstad Strand, le long de la plage, près de Drammen, en Norwége, la coupe que je donne ici (fig. 695). Les couches alternantes de gneiss

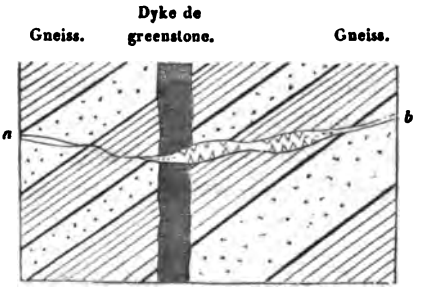


FIG. 695. — *ab*, Veine de quartz traversant le gneiss et le greenstone; Tronstad Strand, près Christiania.

granitoïde blanchâtre et de schiste amphibolique noir me paraissent avoir été d'abord coupées par un dyke de greenstone, d'environ $0^m,75$ d'épaisseur : et, plus tard, s'est ouverte la crevasse *a b* qui a traversé toutes ces roches et s'est remplie de quartz. Les parois opposées sont, en certains endroits, tapissées de cristaux transparents de quartz,

et le milieu de la veine est occupé par du quartz blanc, opaque, ordinaire.

Nous avons vu que les formations volcaniques avaient reçu le nom de *sus-jacentes*, parce que non-seulement elles pénétraient les autres roches, mais encore les surmontaient. M. Necker a proposé, pour les granits, l'expression de roches ignées *sous-jacentes;* cette dernière épithète caractérise bien la différence qu'il a voulu indiquer. Quelques-uns des premiers observateurs ont, il est vrai, supposé que le granit de Christiania, en Norwége, s'était, dans les massifs montagneux de ce pays, introduit entre les couches primaires ou paléozoïques, de manière à recouvrir les schistes et calcaires fossilifères ; mais, bien que le granit envoie des ramifications dans les roches à fossiles, et qu'il leur soit décidément postérieur en âge, M. le professeur Keilhau a contesté, dans le cas actuel, sa superposition en masse, et j'ai eu l'occasion d'étudier par moi-même, en 1837, cette question si controversée. On observe, en réalité, sur une petite échelle, dans cette localité, des lits de porphyre euritique dont certains mesurent quelques décimètres, d'autres plusieurs mètres d'épaisseur, et pénètrent dans le granit ; ils méritent d'être classés plutôt comme roches plutoniques que comme masses trappéennes ; on peut même réellement les admettre comme interposés en stratification concordante dans les couches fossilifères : tels sont les porphyres *a*, *c* (fig. 696),

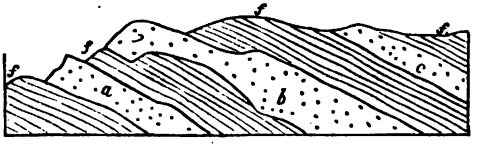


Fig. 696. — Porphyre euritique alternant avec des couches fossilifères primaires, près Christiania.

lesquels séparent les schistes bitumineux et calcaires argileux *ff*. Mais quelques-uns de ces porphyres sont en partie discordants, comme en *b* ; ils feraient supposer que d'autres encore, malgré leur apparence d'interstratification, ont été

nécessairement injectés. Certaines roches porphyritiques que nous avons mentionnées ci-dessus sont fortement quartzeuses, et d'autres, très feldspathiques. A mesure que la masse augmente de volume, elle acquiert une texture plus granitique, une stratification moins concordante, et elle commence à envoyer des prolongements à travers les couches contiguës. En un mot, c'est un magnifique exemple de la dégradation qui existe entre les roches volcaniques et les masses plutoniques, non-seulement quant à leur composition minérale et à leur structure, mais encore quant à leurs rapports de position avec les formations qui leur sont associées. Si l'on peut employer ici l'expression de *sus-jacentes* pour désigner des roches plutoniques, ce n'est qu'autant que la roche commence à acquérir un caractère trappéen.

Nous avons déjà fait comprendre comment la chaleur qui, dans tout volcan actif, part de profondeurs indéfinies, peut produire simultanément des effets très différents près de la surface du sol ou à de grandes distances verticales de cette surface. Or on ne saurait admettre que des roches résultant de la cristallisation de matières fondues sous la pression de quelques milliers de mètres doivent ressembler à celles formées à l'air ou non loin de la pellicule extérieure. Ainsi s'explique la production, à de profonds niveaux, d'une classe de roches analogues aux masses volcaniques, et cependant différentes de celles-ci sous plusieurs rapports ; nous pouvions soupçonner le fait avant même notre description des formations plutoniques. Maintenant, jusqu'à quel point ces roches concordent-elles, à la fois par leurs caractères positifs et négatifs, avec la théorie de leur origine souterraine profonde ? Le jeune géologue répondra lui-même à cette question en se reportant aux développements que nous avons déjà donnés.

Cependant on a objecté que si les roches granitiques et volcaniques étaient simplement des membres différents d'une seule grande série, on devrait rencontrer, dans les chaînes montagneuses, des dykes volcaniques passant en haut à la

lave et en bas au granit. Nous répondrons que nos coupes verticales étant habituellement très limitées, si l'on parvient à reconnaître sur certains points un passage du trapp à la lave poreuse, et sur d'autres une transition du granit au trapp, c'est plus qu'on ne pouvait espérer en pareille circonstance.

L'étendue prodigieuse de dénudation produite durant les époques reculées enseigne au géologue que les antiques roches cristallines, qui occupèrent un très bas niveau dans la croûte terrestre lorsqu'elles vinrent à se former, furent plus tard dépouillées de leur enveloppe et mises à découvert. On doit rapporter leur élévation actuelle au-dessus du niveau de la mer aux mêmes causes qui ont régi l'exhaussement des couches marines jusqu'aux points culminants de certaines chaînes de montagnes. Mais je reviendrai sur ce sujet et d'autres semblables dans le prochain chapitre, où j'expliquerai l'âge relatif des différents massifs granitiques.

CHAPITRE XXXIV.

SUR LES DIFFÉRENTS AGES DES ROCHES PLUTONIQUES.

Difficulté de préciser l'âge d'une roche plutonique. — Caractère de l'âge, déduit de la position relative. — Caractère de l'intrusion et de l'altération. — Caractère de la composition minérale. — Caractère des fragments inclus. — Roches plutoniques Récentes et Pliocènes; pourquoi n'apparaissent-elles point à la surface? — Roches plutoniques Tertiaires des Andes. — Roches Crétacées altérées par le granit. — Altération du Lias par le même agent, dans les Alpes et dans l'île de Skye. — Couches Carbonifères au contact du granit de Dartmoor. — Granit de la période du Vieux Grès Rouge. — Syénite et couches Siluriennes en Norwége. — Association de la même roche au gneiss. — Roches plutoniques les plus anciennes. — Granit sorti sous forme solide. — Sur l'âge probable des granits d'Arran, en Écosse.

Lorsqu'on adopte la théorie ignée du granit telle que nous l'avons expliquée dans le précédent chapitre, et que l'on considère les différentes roches plutoniques comme ayant été engendrées à des époques successives au-dessous de la surface de la planète, il faut s'attendre à rencontrer de plus grandes difficultés dans la détermination de l'âge précis de ces roches que dans celle des formations volcaniques et fossilifères. Rappelons-nous que, pour établir l'âge de masses volcaniques d'une même période, plusieurs moyens sont à notre disposition : la nature de lave qui s'est répandue jadis sur le fond de la mer ou s'est produite à ciel ouvert, les tuffs et conglomérats déposés aussi sur des surfaces découvertes, les débris organiques que les masses précédentes contiennent, enfin leur intercalation dans les couches fossilifères. Mais toutes ces données échappent dès que l'on veut fixer la chronologie d'une roche qui a cristallisé dans son bain de fusion au centre de la terre. Nous sommes alors réduits aux seuls caractères suivants : 1° la position relative; 2° l'intrusion et l'altération des roches au contact; 3° la nature minérale; 4° les fragments inclus.

Caractère de l'âge, déduit de la position relative. — On rencontre des couches fossilifères non altérées de chaque âge, reposant immédiatement sur des roches plutoniques ; il en existe un exemple à Christiania en Norwége : là, le dépôt du Nouveau Pliocène surmonte un granit. L'Auvergne en fournit un autre cas : ce sont des couches Éocènes d'eau douce qui recouvrent cette roche ; à Heidelberg, sur le Rhin, c'est le Nouveau Grès Rouge que l'on observe dans une position semblable. Dans tous ces cas et autres analogues, l'infériorité de position se lie à l'ancienneté plus grande du granit. La roche cristalline était solide lorsque les couches sédimentaires vinrent s'y déposer, et ces dernières contiennent d'habitude des cailloux arrondis de la masse granitique sous-jacente.

Caractère fourni par l'intrusion et l'altération. — Mais, lorsque les roches plutoniques envoient des ramifications dans les couches, et les altèrent près du point de contact, en donnant lieu aux phénomènes que nous avons décrits précédemment (t. II, p. 388), il est clair que, semblables en cela aux trapps d'intrusion, ces roches sont plus récentes que les couches envahies et altérées. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

Caractère de la composition minérale. — Malgré leur uniformité générale d'aspect, les roches plutoniques, comme nous l'avons vu dans le dernier chapitre, fournissent plusieurs variétés telles que Syénite, Granit talqueux et autres. L'une de ces roches se rencontre parfois, exclusive, sur une vaste étendue de pays, conservant un caractère homogène ; aussi, dès que son âge relatif a été établi sur un point, on reconaît aisément son identité partout ailleurs, et l'on détermine, par une seule coupe, les rapports chronologiques d'une longue chaîne de montagnes. Lorsque, par exemple, on a observé en Norwége que le granit syénitique dans lequel abonde le minéral appelé zircon a modifié les couches siluriennes avec lesquelles il était en contact, on ne saurait hésiter à rapporter à la même époque plusieurs autres masses de syénite zirconienne identiques du Sud de ce pays.

Certains géologues ont pensé que l'on pouvait, jusqu'à un certain point, établir l'âge relatif des différents granits, simplement par leurs caractères de composition minérale : la syénite, par exemple, ou granit avec hornblende, serait plus moderne que le granit commun ou micacé ; des recherches récentes s'opposent à ces généralisations. Le granit syénitique de Norwége, dont il a été question, peut appartenir au même âge que les couches siluriennes qu'il traverse et altère, mais aussi dater de la période du Vieux Grès Rouge, tandis que celui de Dartmoor, bien que composé de mica, quartz et feldspath, est plus nouveau que la Houille (voy. t. II, p. 411).

Caractère des fragments inclus. — Ce critérium est rarement de quelque importance, car les portions enveloppées dans le granit sont, d'ordinaire, tellement altérées qu'on ne peut établir avec certitude de quelles roches elles dérivent. Dans les Montagnes Blanches (Amérique septentrionale), on voit, au dire du professeur Hubbard, une veine de granit traversant une autre roche de même nature, et contenant des fragments d'ardoise et de trapp qui ont dû tomber dans la fissure au moment où les matières fondues s'élevèrent pour la remplir (1). On a ici la preuve que le granit est postérieur à certaines formations schisteuses et trappéennes superficielles.

Roches plutoniques Récentes et Pliocènes ; pourquoi n'apparaissent-elles pas à la surface. — Les explications que j'ai données dans les vingt-neuvième et dernier chapitres, sur les rapports probables existant entre les formations plutoniques et volcaniques, conduisent naturellement à conclure que des roches d'une certaine classe ne peuvent jamais se produire à la surface ou non loin de la surface du sol, sans que, simultanément ou bientôt après, se forment quelques autres roches de la même classe. Il n'est pas rare que des courants de lave mettent plus de dix ans à se refroidir à l'air,

(1) Silliman, *The Americ. Journ*, n° 69, p. 123.

et, lorsqu'ils ont une grande épaisseur, ils exigent une période plus longue encore. La matière fondue que rejeta le Jorullo, au Mexique, en 1759, matière qui s'accumula sur certains endroits à plus de 160 mètres, conserva sa température élevée plus d'un demi-siècle (1). On conçoit dès lors sans peine que de vastes masses de lave souterraine puissent rester à l'état incandescent dans les foyers volcaniques pendant d'immenses périodes, et le progrès de leur refroidissement se montrer extrêmement lent. Quelquefois même ce refroidissement se ralentit durant de longs intervalles par de nouvelles émanations de calorique ; on cite la lave du cratère de Stromboli, l'une des îles Lipari, restée plus de deux mille ans à l'état d'ébullition. On peut supposer que cette masse fluide communiquait avec quelque réservoir souterrain de substance fluide. Il en est de même quant à l'île de Bourbon, où, pendant une longue période, se sont produites jadis des émissions successives de lave, de deux ans en deux ans ; il est difficile de supposer que, dans le même temps, la lave n'ait pas été à un état permanent de liquéfaction. Si donc il est raisonnable de penser qu'environ deux mille éruptions ont lieu dans le cours de chaque siècle, soit sous les eaux de la mer, soit à des niveaux supérieurs à sa surface (2), il faut en conclure que la quantité de roches plutoniques de nos jours engendrées ou en voie de formation doit être considérable.

Mais, comme les roches plutoniques se sont formées à une certaine profondeur de l'écorce solide, elles ne deviennent accessibles à l'observation humaine que par suite d'exhaussements ou de dénudations. Entre la période durant laquelle une roche plutonique a cristallisé au sein des régions souterraines, et celle où elle est devenue visible sur un point de la surface, on compte ordinairement une ou deux époques géologiques ; on ne peut donc pas espérer trouver des granits

(1) Voyez les *Principes*, etc., Index : JORULLO.
(2) *Principes*, etc., Index : ÉRUPTIONS VOLCANIQUES.

Récents ou du Nouveau Pliocène à découvert sur le sol, à moins de supposer qu'un intervalle de temps suffisant se soit écoulé pour permettre un exhaussement et une dénudation notables depuis le commencement de la période Nouveau Pliocène. Une roche plutonique doit donc, en général, être très ancienne relativement aux formations fossilifères et volcaniques, une fois qu'elle devient visible. Nous savons qu'avec l'exhaussement des terres ont coïncidé quelquefois, dans l'Amérique méridionale, des éruptions volcaniques et des éjections de lave ; il est facile d'en déduire que des roches plutoniques d'une époque plus reculée ont été poussées à la surface par des roches de la même classe qui se sont formées successivement au-dessous. En effet, l'infraposition pour les roches plutoniques, comme la superposition pour les couches sédimentaires, sont habituellement caractéristiques d'une origine plus récente.

Dans le diagramme suivant (fig. 697), j'ai essayé de représenter l'ordre interverti suivant lequel les formations sédimentaires et plutoniques peuvent se rencontrer au sein de la croûte terrestre.

La roche plutonique la plus ancienne, n° I, s'est élevée à des époques successives, jusqu'à ce qu'elle ait montré enfin un point de sa surface le long d'une chaîne montagneuse. Cette apparition a été favorisée par l'influence ignée des roches plutoniques plus nouvelles n^{os} II, III et IV. Une portion des couches fossilifères primaires n° 1 a suivi le même mouvement ascensionnel, poussée qu'elle a été par une force identique. On remarquera que les *couches* Récentes n° 4, et le *granit* Récent ou roche plutonique n° IV, sont plus éloignés entre eux que toutes les autres formations, bien que datant du même âge. D'après notre hypothèse, qu'explique le diagramme, il faudrait des convulsions de plusieurs périodes pour que le granit *Récent* ou granit de la période de l'homme fût exhaussé au point de former les crêtes les plus élevées et les axes centraux des chaînes de montagnes. Pendant ce long intervalle de temps, les couches *Récentes* n° 4

pourraient se recouvrir d'un grand nombre de formations sédimentaires plus modernes.

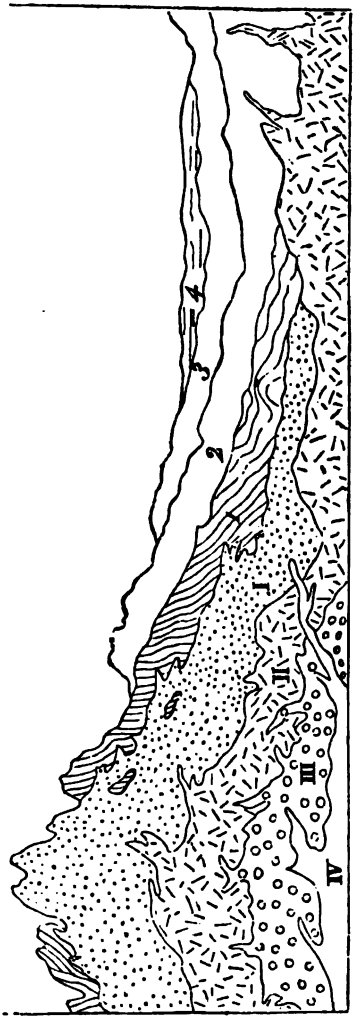


Fig. 697. — Diagramme montrant la position relative possible des formations plutoniques et sédimentaires.

I. Plutoniques primaires.
II. — secondaires.
III. — tertiaires.
IV. — récentes.

4. Couches récentes.
3. — tertiaires.
2. — secondaires.
1. — fossilifères primaires.

Les roches métamorphiques ne sont pas indiquées dans ce diagramme; mais le jeune géologue n'aura pas de peine à deviner, d'après ce qui a été dit dans le chapitre XXXII, que les formations stratifiées n°s 1 et 2, envahies par le granit, ont dû être métamorphosées.

Granit et roches plutoniques Eocènes. — Dans la première partie de cet ouvrage (t. I, p. 361), j'ai rapporté la grande formation nummulitique des Alpes et des Pyrénées à la

période Éocène ; il résulte de ce caractère d'âge une fois établi que les puissants mouvements qui ont élevé les roches fossilifères à la hauteur de plus de 3000 mètres au-dessus du niveau actuel de la mer ont commencé dès l'époque tertiaire. Dans ces régions au moins, sinon en d'autres contrées, on pourra rencontrer des formations hypogènes faisant saillie hors de l'axe central ou des portions les plus disloquées de la plus haute chaîne de l'Europe. Et en effet, dans les Alpes Suisses, le *Flisch* lui-même, ou partie supérieure de la série nummulitique, a été quelquefois envahi par les roches plutoniques, et converti en schiste cristallin de la classe des roches hypogènes. Il ne saurait guère y avoir de doute sur la fluidité ou l'état pâteux du granit talqueux ou gneiss du Mont-Blanc lui-même, à une époque postérieure au dépôt du *flisch* (dépôt de fond de mer) ; la question, par conséquent, relative à l'âge de la roche ignée n'est pas tant de savoir si cette roche est secondaire ou tertiaire, que de décider si l'on doit la rapporter à l'époque Éocène ou Miocène.

La région des Andes a éprouvé de grands mouvements d'élévation pendant la période Post-Pliocène ; on peut donc s'attendre aussi à découvrir des roches plutoniques tertiaires visibles à la surface sur quelques points de cette chaîne. Les connaissances que l'on possède déjà sur la structure des Andes Chiliennes nous mettront naturellement sur la voie de ces découvertes. Une coupe dirigée en travers du long relief a prouvé à M. Darwin qu'entre Valparaiso et Mendoza, la Cordillière se compose de deux chaînes séparées et parallèles, formées de roches sédimentaires de différents âges dont les couches reposent sur des roches plutoniques qui les ont altérées. La chaîne occidentale ou la plus ancienne, nommée les Peuquenes, fournit des schistes argileux, calcarifères, noirs, qui s'élèvent à une hauteur de près de 4,260 mètres au-dessus de la mer, et dans lesquels on distingue des coquilles des genres *Gryphæa*, *Turritella*, *Terebratula* et *Ammonites*. On suppose que ces roches sont de l'âge de la partie moyenne de la série secondaire d'Europe.

Elles sont traversées et altérées par des dykes et masses d'une roche plutonique présentant la texture du granit ordinaire, mais contenant rarement du quartz, et surtout composée d'albite et de hornblende.

La chaîne orientale est formée principalement de grès et conglomérats d'une vaste épaisseur, dont les matériaux ont été fournis par les ruines de la chaîne occidentale. Les cailloux roulés des conglomérats sont, la plupart, des fragments arrondis de ces schistes fossilifères que nous venons de mentionner. La ressemblance de la série entière avec certains dépôts tertiaires répandus sur les côtes du Pacifique, ressemblance qui se rapporte à la fois au caractère minéral et à la présence de lignite et de bois silicifié disséminés au sein des couches, nous conduit à penser que cette série (grès et conglomérats) est aussi d'origine tertiaire. De plus, non-seulement les strates sont associées à des roches trappéennes et tuffs volcaniques, mais encore elles ont été altérées au contact d'un granit plus récent que celui de la chaîne occidentale, et composé de quartz, feldspath et talc. En outre, elles sont traversées par des dykes du même granit, et par de nombreux filons de fer, cuivre, arsenic, argent et or, filons qui tous continuent dans le granit sous-jacent (1). On possède donc des preuves suffisantes pour admettre que la roche plutonique qui, dans les Andes du Chili, se montre ainsi à découvert sur une large surface, est de date postérieure à certaines formations tertiaires.

Mais la théorie adoptée dans cet ouvrage, et qui assigne une origine souterraine aux formations hypogènes, manquerait de base si l'on supposait que le fait d'un granit tertiaire, visible à la surface du sol, n'est point une exception rare à la règle générale. Un laps de temps considérable a dû s'écouler entre la formation des roches plutoniques et métamorphiques au sein des régions profondes, et leur apparition sur terre. Une longue série de mouvements souterrains a été nécessaire

(1) Darwin, pp. 390, 406; 2e édition, p. 319.

pour l'exhaussement de ces roches dans l'atmosphère, ou leur émersion du fond de l'Océan ; avant qu'elles soient devenues visibles à l'homme, les couches qui les recouvraient ont été déchirées profondément et entraînées par la dénudation.

Nous savons que dans la baie des Baiæ en 1538, à Cutch en 1819, et à différentes époques au Pérou et au Chili, l'exhaussement permanent ou l'abaissement des terres, à dater du commencement du siècle actuel, ont été accompagnés d'émissions de lave volcanique. Ne peut-on pas en conclure que les mouvements d'ascension ou d'affaissement de la croûte terrestre, par suite desquels les mers sont converties en continents, et ceux-ci en mers, ne sont que des résultats de l'action ignée souterraine. Il est bien difficile de ne pas admettre que cette action concourt, avec une énergie remarquable, à *calciner* (*bake*) et, parfois, à liquéfier les roches, en augmentant le volume des unes et diminuant celui des autres. Elle contribue aussi à la production des gaz, à leur expansion sous l'influence de la chaleur, et à l'injection de matières liquides dans les fissures formées à travers les roches superposées. On comprendra le degré d'intensité avec lequel les causes souterraines ont agi en Sicile depuis le dépôt des couches du Nouveau Pliocène, si l'on se rappelle que sur la moitié de la surface de l'île ces couches ont été haussées depuis 15 mètres jusqu'à 600 et même 900 mètres au-dessus du niveau de la mer. En Sicile également, les roches plus anciennes, contiguës aux couches tertiaires marines précédentes, ont dû éprouver, durant la même période, de semblables mouvements d'ascension.

Ces observations peuvent s'appliquer à la presque totalité de l'Europe, car, depuis le commencement de la période Éocène, la surface entière de cette portion de la terre, y compris quelques-uns des points centraux et les plus élevés des Alpes elles-mêmes, comme je l'ai démontré ailleurs (1),

(1) Voy. la carte d'Europe, et explication dans les *Principes*, vol. I.

et excepté seulement quelques districts, ont émergé des abîmes pour s'élever jusqu'à la hauteur actuelle ; les continents antérieurs à l'ère Éocène avaient eux-mêmes acquis déjà, presque partout, leur altitude additionnelle. Un abaissement marqué eut lieu durant la même période, et cet abaissement se fit sur une étendue qui égala, si elle ne dépassa pas, la surface totale du continent européen. On se demandera donc quelle dut être la quantité de changements d'importance comparable survenus dans la croûte terrestre pendant une durée de temps égale antérieurement à l'époque Éocène? Les géologues qui contestent l'énergie plus intense des causes souterraines aux époques éloignées de l'histoire de la terre, trouveront bien plus de difficultés pour répondre à cette question qu'ils ne s'y seraient attendus.

Le principal effet de l'action volcanique qui se produisit dans les profondeurs de la terre, durant la période tertiaire, fut sans doute l'exhaussement de la surface des formations hypogènes d'une époque antérieure au Carbonifère. Une autre série de mouvements, d'une violence égale, éleva les roches plutoniques et métamorphiques de plusieurs périodes secondaires ; si la même force continuait encore à agir, les premières convulsions qui auraient lieu mettraient au jour les roches hypogènes *Tertiaires* et *Récentes*. Sous l'influence de ces changements, plusieurs des couches sédimentaires actuelles perdraient beaucoup par la dénudation ; d'autres acquerraient une structure métamorphique, et fondraient, dans les bas niveaux, en roches plutoniques et volcaniques. En même temps, il ne manquerait pas de se déposer une vaste épaisseur de strates nouvelles, tandis que s'accompliraient l'exhaussement et la destruction partielle des roches plus anciennes. Mais je renvoie le lecteur à l'avant-dernier chapitre de cet ouvrage, pour un plus ample développement du système.

Période Crétacée. — Nous démontrerons, chapitre XXXV, que, dans les Pyrénées Orientales, la craie, tout comme le lias, a été altérée par le granit. Il n'est pas facile de

distinguer si ce granit fut crétacé ou tertiaire. Supposons que *b*, *c*, *d*, figure 698, soient les trois membres de la série Crétacée, dont le plus inférieur *b* aurait éprouvé des modifications sous l'influence du granit A, influence qui ne se serait pas propagée jusqu'à *c*, ou n'en aurait que légèrement

FIG. 698.

affecté les lits les plus inférieurs. En ce cas, il sera difficile au géologue de décider si les couches *d* ont existé au temps où se firent l'intrusion A et la modification de *b* et *c*, ou bien si elles se sont déposées plus tard sur *c*.

Mais comme certaines roches crétacées et même tertiaires ont subi un exhaussement de plus de 2,740 mètres, dans les Pyrénées, on ne saurait admettre qu'aucune formation plutonique des mêmes périodes n'ait été mise à découvert par la dénudation à des niveaux de 600 ou 900 mètres sur les versants de cette chaîne.

Période de l'Oolite et du Lias. — Dans le département des Hautes-Alpes, en France, M. Élie de Beaumont a signalé un calcaire argileux rempli de bélemnites à quelques mètres d'une masse de granit. A cette distance, le calcaire commence à prendre une structure grenue, mais à grains extrêmement fins. Plus près du point de jonction, ce même calcaire devient grisâtre et acquiert une texture saccharoïde. Dans une autre localité, près de Champoléon, certain granit, composé de quartz, mica noir et feldspath rose, recouvre en partie des roches secondaires, produisant une altération qui s'étend à environ 9 mètres et diminue dans les couches de plus en plus éloignées du granit (fig. 699). Au sein de la masse altérée, les lits argileux ont été durcis, le calcaire

est saccharoïde, les grès sont quartzeux (1) ; au milieu, se trouve une bande mince de granit imparfait. Une autre circonstance importante mérite d'être signalée : près du point de contact, le granit et les roches secondaires sont devenus métallifères, et contiennent des nids ainsi que de petites veines de blende, galène, fer et pyrite cuivreuse. Les roches stratifiées se montrent, à ce point de contact, plus dures et plus cristallines, tandis que le granit, au contraire, devient plus friable et moins nettement cristallisé (2).

Bien que le granit soit la masse superposée dans la coupe (fig. 699), il ne faut point en conclure qu'il a coulé à la sur-

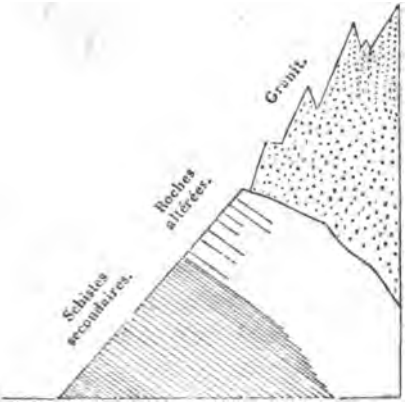


Fig. 699. — Jonction du granit aux couches Jurassiques ou Oolitiques, près Champoléon, dans les Alpes.

face des couches, car les dislocations sont telles, dans cette partie des Alpes, que les roches occupent rarement la position prise dans l'origine.

M. le Dr Mac-Culloch a décrit une masse considérable de syénite, qui, dans l'île de Skye, traverse des calcaires et schistes de l'âge du lias (3). A distance du granit, le calcaire

(1) Convertis en *Quartzite*. (*Note du traducteur.*)

(2) Élie de Beaumont, *Sur les Montagnes de l'Oisans*, etc. (*Mém. de la Soc. d'hist. nat. de Paris*, t. V).

(3) Murchison, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. II. part. II, pp. 311, 312.

contient des coquilles, mais il n'en montre pas de traces près du point de jonction, où il a été converti en marbre cristallin pur (1).

A Predazzo (Tyrol), des couches secondaires appartenant en partie à la période Oolitique ont été pénétrées et modifiées par des roches plutoniques, surtout par un porphyre augitique qui passe insensiblement au granit. Le calcaire est converti en marbre grenu, avec bande de serpentine au point de jonction (2).

Période Carbonifère. — On a d'abord considéré le granit de Dartmoor en Devonshire comme l'une des plus anciennes roches plutoniques, mais on sait très bien aujourd'hui qu'il est postérieur aux couches à combustible du même comté ; celles-ci, d'après leur position et leur contenu en plantes houillères de caractère bien tranché, constituent actuellement, pour M. le professeur Sedgwick et Sir R. Murchison, des membres de la véritable série carbonifère. De même que le granit syénitique de Christiania, celui dont il est ici plus spécialement question s'est fait jour à travers les formations stratifiées sans changer leur direction. Or, du côté Nord-Ouest de Dartmoor, les membres successifs du terrain à combustible buttent contre le granit, et se métamorphisent à mesure qu'ils s'en approchent. Ces couches sont aussi traversées de veines granitiques et de dykes plutoniques appelés *Elvans* (3). Le granit du Cornouailles est probablement du même âge, et, par conséquent, aussi moderne que les strates Carbonifères, s'il ne l'est pas plus.

Période Silurienne. — On sait depuis longtemps que le granit des environs de Christiania, en Norwége, est de date plus récente que les couches Siluriennes du même pays. De Buch a, le premier, annoncé le fait en 1813 : ce granit est postérieur aux calcaires à orthocères et à trilobites. Les

(1) *Western Islands*, vol. I, p. 340, pl. 18, fig. 3, 4.
(2) Von Buch, *Annales de chimie*, etc.
(3) *Proceed. Geol. Soc.*, vol. II, p. 562 ; et *Trans.*, 2e sér., vol. V, p. 686.

preuves en sont la présence de veines granitiques qui traversent un schiste et un calcaire, et l'altération de ces dernières roches jusqu'à une distance considérable du point de contact, altération produite soit par des veines, soit par la masse centrale dont les veines ne sont que des rameaux (voy. t. II, p. 396). De Buch a supposé que les roches plutoniques alternaient ici avec les strates fossilifères, et que de vastes lambeaux de granit recouvraient parfois ces strates; cette opinion est erronée : elle reposait sur le fait que les lits de schiste et de calcaire plongent souvent vers le granit, au point de jonction, comme s'ils devaient passer sous sa masse, par exemple en *a* (fig. 700), tandis qu'en *b*, au côté opposé de la même montagne, les lits s'élèvent contre les

FIG. 700.

flancs du granit. Mais lorsqu'on observe avec attention les points de contact, on voit que la roche plutonique pénètre elle-même, sous forme de prolongements, au sein des roches stratifiées fossilifères; nulle part cependant elle ne les couvre en larges masses, ainsi que le font si fréquemment les formations trappéennes (1).

Or, le même granit, qui est plus nouveau que les couches Siluriennes, en Norwége, envoie aussi, dans ce pays, des veines au travers d'une ancienne formation de gneiss; et les rapports de la roche plutonique au gneiss, à leur jonction, présentent le plus grand intérêt, si l'on considère avec l'attention qu'elle mérite la différence d'époque qui dut séparer leur origine.

Cette différence, et par conséquent la durée de l'intervalle,

(1) Voyez *Gæa Norvegica*, et autres ouvrages de Keilhau; j'ai exploré le pays en société de ce savant.

pent se supputer d'après les faits suivants : les lits fossilifères ou Siluriens reposent en stratification non concordante sur la tranche du gneiss dont les couches inclinées ont été dénudées avant que les strates sédimentaires se fussent déposées (fig. 701). Les preuves de la dénudation sont de deux sortes : d'abord, on rencontre parfois à la surface du

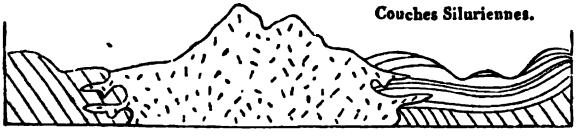


Fig. 701. — Granit projetant des veines dans les couches Siluriennes et le Gneiss ; Christiania, Norwége.

gneiss, lorsqu'on déblaie les lits plus nouveaux qui le recouvrent, des débris organiques usés et arrondis; en second lieu, on a trouvé des cailloux roulés de gneiss dans quelques-unes des couches Siluriennes. Par conséquent, entre l'origine du gneiss et celle du granit, sont intervenues d'abord la période où les couches de gneiss furent dénudées, en second lieu, l'époque d'accumulation des dépôts Siluriens. Cependant, le granit qui est sorti après un si long intervalle de temps est si intimement lié au gneiss ancien, vers les points de jonction, que l'on ne peut tracer qu'une ligne arbitraire de séparation entre les deux ; et, d'autre part, les veines tortueuses de granit passent librement à travers le gneiss, envoyant quelquefois çà et là de petites ramifications, comme si la roche plus ancienne n'eût pas offert la moindre résistance à ce passage. Il semble donc nécessaire d'admettre que le gneiss était à un état de mollesse, et plus ou moins à celui de fusion, lorsqu'il fut pénétré par le granit. Mais, dans la supposition où les points de jonction seuls eussent été visibles, et où l'on n'eût pas connu par d'autres coupes la durée de la période qui s'est écoulée entre la consolidation du gneiss et l'injection du granit, on aurait peut-être admis que le gneiss était à peine solidifié, ou qu'il n'avait point encore acquis complétement son caractère métamorphique lorsqu'il fut

envahi par la roche plutonique. D'après cet exemple, on voit combien il doit être difficile, en Écosse et d'autres pays, de préjuger l'âge de certains granits qui envoient des veines dans le gneiss et autres roches métamorphiques, et de décider s'ils appartiennent à l'époque Primaire ou aux périodes Secondaire ou Tertiaire.

Granits les plus anciens. — Il y a un demi-siècle à peine, on croyait généralement que toute roche granitique était *primitive*, c'est-à-dire qu'elle avait été formée avant le dépôt des premières couches sédimentaires et la création des êtres organisés. Mais, aujourd'hui, les opinions ont tellement changé qu'il n'est pas facile de faire remonter l'origine d'une masse donnée de granit à une époque antérieure à l'accumulation de toute série fossilifère. Vînt-on à découvrir quelques strates de Cambrien Inférieur reposant immédiatement sur le granit, sans altération au point de contact ou sans veines granitiques, on serait sûr que la roche plutonique est antérieure aux dépôts fossilifères les plus anciens constatés. Et encore est-il présomptueux de supposer qu'après des investigations qui n'ont encore atteint qu'une très faible partie du globe, nous connaissions les couches fossilifères les plus anciennes de notre planète. En supposant même que ces couches fussent bien constatées, nous serait-il permis d'affirmer que nulle part il ne se trouve des lits antérieurs ayant contenu des débris organiques, mais devenus plus tard métamorphiques. Si l'on vient à rencontrer des cailloux roulés de granit dans un conglomérat du Cambrien Inférieur, on acquerra la certitude que le granit-père fut produit avant la formation de ce terrain. Que si les couches incombantes appartiennent au Silurien ou au Cambrien Supérieur, le granit fondamental, bien que d'une très haute antiquité, sera peut-être postérieur en âge aux formations fossilifères *connues*.

Protrusion de granit solide. — Dans le comté de Sutherland, près de Brora, un granit commun composé de feldspath, quartz et mica, qui se voit au contact immédiat de couches

Oolitiques, a, sans nul doute, été élevé à la surface à une époque postérieure au dépôt de ces couches (1). Le professeur Sedgwick et Sir R. Murchison seraient portés à considérer ici le granit comme ayant été poussé sous forme solide, à travers les divers dépôts sous-marins avec lesquels il ne se trouvait peut-être pas originellement en contact, et comme les ayant fracturés de manière à former une brèche le long de la ligne de jonction. Cette brèche, qui existe en effet, se compose de fragments de schiste, grès et calcaire, avec fossiles de l'Oolite, le tout lié par un ciment siliceux. Les couches secondaires, à quelque distance du granit, ne sont que légèrement dérangées ; mais, à mesure qu'elles s'en approchent, la dislocation devient plus prononcée.

Si l'on admet que les roches solides hypogènes, stratifiées ou non stratifiées, aient été, dans de tels cas, poussées de manière à percer les dépôts sédimentaires, on se rendra compte de plusieurs phénomènes géologiques qui, autrement, eussent été inexplicables. Ainsi, par exemple, à Weinböhla et Hohnstein, près de Meissen, en Saxe, on a signalé une masse de granit recouvrant des couches des périodes Crétacée et Oolitique, sur un espace de 90 à 120 mètres carrés. Il résulte clairement d'un Mémoire du docteur B. Cotta sur ce sujet (2), que le granit est sorti à l'état solide. Il n'existe pas de veines au point de jonction ; on n'observe pas, non plus, d'altération produite par la chaleur, mais des traces évidentes d'une action de fractionnement et de trituration, et, sur quelques points, on reconnaît une brèche dans laquelle des morceaux de granit sont mêlés à des fragments de roches secondaires.

Age relatif des granits d'Arran. — Dans cette île, la plus considérable du Firth de Clyde, et qui mesure 32 kilomètres de longueur du Nord au Sud, les quatre grandes classes de roches, Fossilifères, Volcaniques, Plutoniques et Métamor-

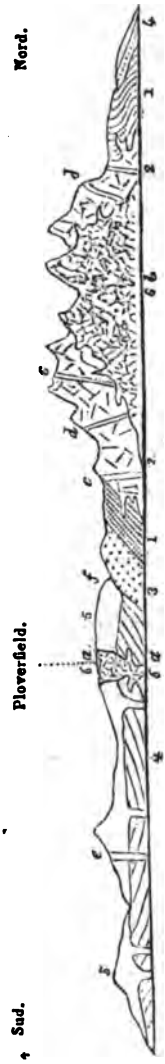
(1) Murchison, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. II, p. 307.

(2) *Geognostische Wanderungen*. Leipsick, 1838.

phiques, sont développées à un degré remarquable, sur une surface comparativement restreinte, mais avec leurs carac-

Fig. 702.

COUPE GÉNÉRALE D'ARRAN, DU NORD AU SUD.



1. Schistes Métamorphiques ou Hypogènes, les plus anciens formés, d'Arran.
2. Granit à gros éléments, dirigeant des veines à travers les schistes n° 1.
3. Vieux Grès Rouge et Conglomérat contenant des cailloux roulés, exclusivement dérivés des roches n° 1, sans aucun mélange de fragments granitiques.
4. Couches carbonifères et Grès Rouge (Nouveau Grès Rouge?).
5. Trapp en superposition et en dykes (*c, d, e*), passant parfois aux syénites de la classe des roches Plutoniques.
6 *a*. Granit à petits grains, associé au trapp sus-jacent n° 5.
6 *b*. Granit également à grains fins, se ramifiant dans le granit plus ancien n° 2, et coupant les dykes trappéens *c, d* (1).

(1) Dans la coupe ci-dessus, j'ai tâché de faire ressortir les résultats des nouvelles découvertes faites depuis 1839 par M. Necker et M. A.-C. Ramsay, relatives aux formations plutoniques plus modernes 6 *a* et 6 *b* (voy. t. II, p. 213).

tères particuliers bien tranchés. Au Nord, le granit atteint la hauteur de 900 mètres au-dessus de la mer, et se termine

sous forme de pics (voy. coupe, fig. 702). Les flancs des montagnes sont occupés par des schistes chloritiques, des ardoises tégulaires bleues et autres roches de l'ordre des métamorphiques (n° 1), au travers desquelles le granit (n° 2) envoie des veines. Ce granit est donc plus nouveau que les schistes hypogènes (n° 1) qu'il pénètre.

Les schistes sont fort inclinés; on les voit surmontés de conglomérats et grès (n° 3) que l'on peut rapporter à la formation du Vieux Grès Rouge, et auxquels succèdent différents schistes et calcaires fossilifères (n° 4), de la période Carbonifère ; au-dessus viennent d'autres couches de grès et conglomérat (partie supérieure du n° 4), au sein desquelles on n'a pas encore rencontré de fossiles, et que l'on soupçonne appartenir à la période du Nouveau Grès Rouge. Toutes les formations précédentes sont traversées par des roches volcaniques (n° 5) consistant en greenstone, basalte, pechstein, argilophyre et autres variétés. Ces roches se montrent, soit sous la forme de dykes, soit sous celle de masses de 15 à 215 mètres d'épaisseur, recouvrant les couches (n° 4). Elles passent quelquefois à une syénite tellement cristalline qu'on la croirait de production plutonique ; et, dans une localité particulière, à Ploverfield, en Glen Cloy, un granit à grain fin (6, *a*) se trouve associé à la formation de trapp, et projette des veines à travers le grès ou les lits supérieurs du n° 4. Cette découverte intéressante de granit dans la région Sud d'Arran, sur un point où il est séparé du massif septentrional de la même roche par une immense épaisseur de couches secondaires et de trapps sus-jacents, est due à M. Necker, de Genève, et date du voyage de ce savant, à Arran, en 1839. Nous apprenons aussi, d'après les dernières recherches du professeur A.-C. Ramsay, qu'un granit semblable, à grain fin (n° 6, *b*), existe à l'intérieur du district granitique septentrional, dont il forme le noyau, envoyant des veines dans le granit à gros éléments plus ancien (n° 2). Les dykes de trapp qui pénètrent cette dernière masse sont coupés brusquement, suivant M. Ramsay, à leur jonction avec la roche à grain plus ténu.

Il n'est pas improbable que le granit (n° 6, *b*) soit du même âge que celui de Ploverfield (n° 6, *a*), et celui-ci, à son tour, pourrait bien appartenir à la même époque géologique que les formations de trapp (n° 5). S'il doit y avoir différence de date, c'est le granit à grain fin qui paraîtrait plus nouveau que les roches trappéennes. Mais, d'un autre côté, le granit à plus gros éléments (n° 2) serait peut-être la roche la plus ancienne d'Arran, en exceptant les schistes hypogènes (n° 1) à travers lesquels il envoie des ramifications.

On opposera peut-être à cette conclusion la circonstance curieuse et vraiment remarquable dont le docteur Mac-Culloch a fait ressortir toute l'importance, savoir, que l'on ne rencontre aucun galet de granit dans les conglomérats du Vieux Grès Rouge d'Arran, bien que ceux-ci mesurent quelques centaines de mètres d'épaisseur, et gisent au pied de hautes montagnes granitiques. Comme, en règle générale, tous ces agrégats de cailloux et de sable sont principalement composés de débris de roches préexistantes qui se trouvent dans leur voisinage immédiat, l'absence totale de cailloux granitiques a justement étonné les géologues qui ont successivement visité l'île d'Arran et l'ont explorée avec soin, ainsi que je l'ai fait moi-même dans le désir d'y trouver une exception; mais les recherches ont été vaines. Les portions arrondies du conglomérat consistent exclusivement en quartz, chlorito-schiste et autres membres de la série métamorphique; même, dans les conglomérats plus nouveaux du n° 4, on n'a encore découvert aucun fragment granitique. Sommes-nous autorisés à affirmer que le granit à gros éléments (n° 2), de même que la variété à petit grain de la roche analogue (n° 6, *a*), sont plus modernes que toutes les autres masses de l'île? Je ne le pense pas, du moins jusqu'à présent; mais on peut admettre avec confiance que, lorsque les lits divers de grès et conglomérat se formèrent, aucun granit ne se montrait encore à la surface, ou n'avait été mis à découvert par la dénudation, dans l'île d'Arran. Il est clair que les schistes cristallins avaient déjà pris fond en sable

et gravier lorsque se déposèrent les strates n° 3 ; mais, à cette époque, les flots n'avaient pas encore exercé leur action sur le granit qui, aujourd'hui, montre des ramifications pénétrant dans le schiste. Devons-nous dès lors conclure que les schistes ont subi la dénudation avant d'avoir été envahis par le granit? Cette hypothèse, qui n'est pas inadmissible, ne comporte cependant pas une certitude absolue. En effet, à l'époque où se déposa le Vieux Grès Rouge, les couches métamorphiques constituaient déjà sans doute des îles dans la mer (fig. 703), et, contre ces îles frappèrent les

FIG. 703.

brisants, ou à leur surface coulèrent des torrents et des rivières emportant le gravier et le sable. La roche plutonique ou granit (B) aura peut-être été d'abord injectée à un certain niveau au-dessous, mais la dénudation n'aura jamais mis sa surface à découvert.

Quant à l'époque et au mode de protrusion du granit à gros grain (n° 2), on peut dire que cette roche est sortie en masse sous forme solide pendant cette longue série d'opérations ignées qui ont produit les formations trappéennes et plutoniques (n^os^ 5, 6 *a* et 6 *b*).

Nous avons démontré que ces éruptions, quelle que soit leur date, sont survenues après le dépôt de toutes les couches fossilifères d'Arran. Il est évident aussi que postérieurement aux roches granitiques et trappéennes survint la grande dénudation aqueuse que ces roches subirent probablement au moment où elles émergèrent de l'Océan : le fait est prouvé par la terminaison abrupte de dykes nombreux tels que *c*, *d*, *e*, lesquels sont coupés à fleur de surface du granit et du trapp. Le trapp superposé se termine de même, brusquement, en approchant des limites de la vaste région hypogène, par une tranche nette qui regarde à *f*, figure 702.

Lorsque cette roche, dans le principe, coula à l'état fluide, elle ne dut pas s'arrêter ainsi brusquement, mais continuer à remplir la dépression qui, aujourd'hui, la sépare des roches hypogènes, si du moins cette dépression exista alors. La nécessité de supposer qu'à la fois le trapp et le conglomérat se soient étendus jadis plus loin, et que des veines telles que *c*, *d*, figure 702, aient atteint une hauteur beaucoup plus considérable, nous conduit à penser que la totalité du granit septentrional fut, à une certaine époque, recouverte par des formations plus nouvelles sous la pression desquelles, avant sa protrusion, il acquit sa texture éminemment cristalline.

La théorie de la protrusion sous forme solide du noyau septentrional de granit, reçoit sa confirmation de la manière dont les schistes hypogènes (n° 1) et les lits de conglomérat (n° 3) plongent de tous les côtés. En quelques endroits, il est vrai, les schistes inclinent vers le granit ; mais on pouvait s'attendre à cette exception, car les couches hypogènes ont subi des dislocations à plus d'une époque géologique, et, dans quelques cas du moins, ont peut-être occupé, lors de leur sortie, une position inverse. Par conséquent, la forte inclinaison et le plongement dans tous les sens (*quâquâ versal dip*) des lits autour des bords de la bosse granitique, ensuite l'horizontalité comparative des couches fossilifères de la portion méridionale de l'île, sont des faits parfaitement en accord avec l'hypothèse d'énormes mouvements sur le point où l'on suppose que le granit est sorti en masse solide, et où l'on peut concevoir qu'il s'est développé latéralement par l'injection réitérée de nouvelles matières fondues (1).

(1) Pour la géologie d'Arran, consultez les ouvrages des docteurs Hutton et Mac-Culloch, les Mémoires de MM. Von Dechen et Von Oeynhausen, celui du professeur Sedgwick et Sir R. Murchison (*Geol. Trans.*, 2e série), le Mémoire de L.-A. Necker, lu à la Société royale d'Édimbourg, 20 avril 1840, et celui de M. Ramsay (*Geol. of Arran*, 1841). J'ai exploré moi-même une grande partie de l'île, en 1836.

CHAPITRE XXXV.

ROCHES MÉTAMORPHIQUES.

Caractère général des roches métamorphiques. — Gneiss. — Schiste amphibolique. — Micaschiste. — Schiste argileux. — Quartzite. — Chlorito-schiste. — Calcaire métamorphique. — Liste alphabétique et explication des roches métamorphiques les plus abondantes. — Origine de ces roches. — Leur stratification. — Couches fossilifères converties, au contact des granits d'intrusion, en roches diverses de la série métamorphique. — Arguments que l'on a tirés de ce fait pour expliquer la nature de l'action plutonique. — Le temps permet à cette action de se propager au travers des masses les plus denses. — De quelles sortes de roches sédimentaires chaque variété de la classe métamorphique dérive-t-elle? — Objections qui ont été faites à la théorie du métamorphisme. — Conversion partielle de schiste Éocène en gneiss.

Nous avons jusqu'à présent étudié trois classes distinctes de roches : aqueuses ou fossilifères, volcaniques, plutoniques ou granitiques ; il nous reste maintenant, pour terminer, à examiner celles des couches cristallines (hypogènes) auxquelles on a donné le nom de *métamorphiques*. Cette dernière expression, comme nous l'avons dit ailleurs, implique l'hypothèse que les couches, après s'être déposées au fond des eaux, auraient acquis, sous l'influence de la chaleur et d'autres causes, une texture éminemment cristalline. Les géologues qui ne partagent pas cette opinion peuvent appliquer aux roches dont il s'agit les épithètes de stratifiées hypogènes, ou hypogènes schisteuses.

Ces roches, dans leur état le mieux caractérisé et le plus normal, sont tout à fait dépourvues de débris organiques ; elles ne contiennent, non plus, aucunes portions distinctes d'autres roches, arrondies ou angulaires. Quelquefois on les observe sur des points isolés, au centre de chaînes montagneuses étroites ; mais, dans d'autres cas, elles s'étendent sur de larges surfaces, occupant, par exemple, la presque totalité

de la Suède et de la Norwége où, de même qu'au Brésil, elles se montrent à de bas et à de hauts niveaux. Dans la Grande-Bretagne, ceux des membres de la série qui se rapprochent le plus du granit par leur composition (tels sont les gneiss, micachiste, schiste amphibolique) se trouvent limités à la contrée Nord des rivières Forth et Clyde.

Quelque cristallines que ces roches puissent être en certains pays, elles n'envoient jamais comme le granit et le trapp des veines au sein des formations contiguës, que ces formations soient du schiste ancien ou du granit, ou bien un groupe de couches fossilifères plus modernes.

On a essayé maintes fois d'assigner un ordre général de succession ou de superposition aux membres de cette famille ; on a supposé, par exemple, que le schiste argileux occupait invariablement un niveau supérieur au micaschiste, et que celui-ci surmontait toujours le gneiss. Mais, bien que cet ordre soit en réalité le plus constant dans quelques régions isolées, il est loin d'être universel. Je renverrai, du reste, sur ce sujet, au chapitre XXXVII, où sont exposés les rapports chronologiques des roches métamorphiques.

Voici les principaux membres de la série métamorphique : gneiss, micaschiste, schiste amphibolique, schiste argileux, chlorito-schiste, calcaire hypogène ou métamorphique, et certaines sortes de quartz ou quartzites.

Gneiss. — On peut dire que cette roche est un granit

Fig. 704. — Morceau de gneiss, de grandeur naturelle ; coupe perpendiculaire aux feuillets.

stratifié, ou, pour ceux qui n'adopteraient pas cette dernière expression, un granit feuilleté : elle est formée des

mêmes matériaux que le granit : de feldspath, quartz et mica. Dans l'échantillon que j'ai figuré ici, les bandes blanches sont presque exclusivement du feldspath lamellaire, entremêlé çà et là d'écailles de mica et de particules de quartz. Les bandes noires sont composées de quartz gris et de mica noir, avec particules accidentelles de feldspath. La roche se divise plus facilement suivant les bandes noires, dont la surface exposée au jour est toute brillante de paillettes de mica. Le quartz qui accompagne ces bandes l'emporte cependant de beaucoup sur le minéral foliacé; mais le clivage le plus facile est déterminé par la quantité de ce dernier minéral.

Au lieu de se séparer ainsi en lames minces, le gneiss se partage quelquefois en bandes plus épaisses dans lesquelles le mica n'est que légèrement parallèle aux plans de stratification.

Cependant, le mot *gneiss*, en géologie, a généralement un sens plus large, et sert à désigner une formation dans laquelle domine la roche proprement désignée sous ce nom, mais avec laquelle on rencontre aussi, en lits alternants, d'autres roches métamorphiques, et plus spécialement du schiste amphibolique. On considère alors les autres membres de la série métamorphique comme subordonnés au véritable gneiss.

Le lecteur prévoit déjà quelles pourront être les différentes variétés de roches alliées au gneiss dans lesquelles le feldspath entrera comme élément essentiel ; il lui suffira pour cela de se rappeler ce qui a été dit du granit. Par exemple, en ajoutant le hornblende aux mica, quartz et feldspath, on aura un gneiss syénitique ; ou bien, si au mica l'on substitue le talc, on obtiendra un gneiss talqueux, roche composée de feldspath, quartz et talc, en cristaux distincts ou en particules simplement cristallines (protogyne stratifiée des Français).

Schiste amphibolique. — Il est ordinairement noir, composé simplement de hornblende (amphibole), avec propor-

tions variables de feldspath et, quelquefois, de particules de quartz. Lorsque le hornblende et le feldspath sont en quantités sensiblement égales, et que la roche n'est point schisteuse, celle-ci correspond par ses caractères aux greenstones de la famille des trapps ; alors on l'a nommée *Greenstone primitif*. On peut aussi l'appeler *Roche de hornblende*. Certaines masses contenant ainsi du hornblende sont probablement des roches volcaniques devenues, après coup, plus cristallines ou métamorphiques.

Micaschiste, ou Schiste micacé. — Cette roche se rapproche du gneiss, et constitue l'une des plus abondantes de la série métamorphique. Elle est schisteuse, essentiellement composée de mica et de quartz, le mica paraissant quelquefois former la masse totale. Des lits de quartz pur s'y rencontrent accidentellement. En certains districts, des grenats sous forme de dodécaèdres réguliers entrent comme partie intégrante dans la masse. Le micaschiste passe par des gradations insensibles au schiste argileux.

Schiste argileux. — Il peut ressembler beaucoup à une argile endurcie ; dans la plupart des cas il est extrêmement fissile, et fournit de très bonnes pierres à couvrir les toits. Parfois il possède un éclat brillant et soyeux dû à de petites paillettes de mica ou de talc qu'il contient. Sa couleur varie du verdâtre au gris bleuâtre ou au gris de plomb, et l'on doit dire de ce schiste, plus que de tout autre, qu'il appartient en commun aux séries métamorphique et fossilifère, car des schistes argileux pris dans chacune de ces divisions ne se distingueraient pas les uns des autres par les seuls caractères minéralogiques (1).

Quartzite, ou Roche de Quartz. — C'est une agrégation de particules de quartz soit sous forme de petits cristaux, soit, ce qui est plus ordinaire, sous celle de corps arrondis, le tout

(1) D'après l'ensemble des caractères assignés ici par l'auteur au *schiste argileux*, cette roche nous paraîtrait aussi comprendre les *ardoises* et les *phyllades* des géologues français. (*Note du traducteur.*)

en couches régulières associées au gneiss et à d'autres roches métamorphiques. Le quartz compacte, celui qu'on trouve si fréquemment en veines, existe aussi associé au quartzite grenu. Les deux variétés alternent avec le micaschiste ou le gneiss ; il arrive parfois qu'elles passent à ces roches par addition de mica, ou de feldspath et de mica.

Chlorito-schiste. — C'est une roche schisteuse, verte, dans laquelle abonde surtout la chlorite en très fines paillettes ordinairement mêlées de petites particules de quartz, ou quelquefois de feldspath et de mica ; elle est souvent associée au gneiss et au schiste argileux, avec lesquels on la voit se fondre dans certains cas.

Calcaire cristallin ou Métamorphique. — Cette roche hypogène, que les plus anciens géologues ont appelée *Calcaire Primaire*, se montre, dans quelques circonstances, sous la forme d'un marbre blanc, cristallin, grenu, qui alors est exploité pour la sculpture et l'ornementation architecturale, surtout s'il est en masses assez considérables ; mais, plus fréquemment on le rencontre en lits minces comme les feuillets d'un schiste, et il ressemble beaucoup, pour la couleur et l'apparence extérieure, à certaines variétés de gneiss et de micaschiste. Lorsqu'il alterne avec ces dernières roches, il contient souvent des cristaux de mica, et accidentellement, du quartz, feldspath, hornblende, talc, chlorite, grenat et autres minéraux. Rarement on l'observe dans les districts hypogènes de Norwége, de Suède et d'Écosse ; mais il est très largement développé dans les Alpes.

Avant de me livrer à des considérations relatives à l'origine probable des roches métamorphiques, je donnerai d'abord, sous forme de glossaire, de courtes explications sur quelques-unes des variétés principales de ces roches, et j'indiquerai leurs synonymes.

Explication des noms, des synonymes et de la composition des roches métamorphiques les plus abondantes.

Ampélite. Schiste alumineux (Brongniart) ; il se rencontre à la fois dans la série métamorphique et la série fossilifère.

Amphibolite. Roche de hornblende (voy. cette roche).

Arkose. Nom donné par Brongniart à un composé des mêmes minéraux que le granit ; l'arkose, en effet, ressemble beaucoup à cette dernière roche. On la trouve à la jonction du granit et de formations de différents âges ; elle consiste en cristaux de feldspath, de quartz et quelquefois de mica ; ces minéraux, après avoir été d'abord désagrégés par une action postérieure à une première consolidation, ont été réunis à nouveau par un ciment siliceux ou quartzeux. L'Arkose est souvent traversée de veines de quartz.

Calcaire hypogène (voy. page précédente, 425.)

Calcaire primaire, ou Calcaire hypogène (voy. *ibid.*).

Chlorito-schiste (ou *Schiste chloritique*). Roche schisteuse, verte, contenant abondamment de la chlorite, minéral écailleux, vert (voy. *ibid.*).

Eurite. Nous l'avons déjà mentionnée comme roche plutonique (t. II, p. 385), mais elle se rencontre aussi, et avec une composition absolument identique, en lits subordonnés aux gneiss ou aux micaschistes.

Gneiss. Roche stratifiée ou feuilletée ; même composition que le granit (voy. t. II, p. 422).

Gneiss a hornblende, ou Syénitique. Composé de feldspath, quartz et hornblende.

Gneiss talqueux. Même composition que le granit talqueux ou protogyne, mais non stratifié ou feuilleté.

Granit talqueux. Voyez Protogyne.

Marbre. Voyez tome I, page 20, et tome II, page 425.

Micaschiste, ou Schiste micacé. Roche schisteuse, composée de mica et de quartz en proportions variables (voy. t. II, p. 424).

Phyllade. D'Aubuisson donne ce nom au schiste argileux, d'après Φυλλας, amas de feuilles.

Protogyne. Voyez *Gneiss talqueux* (t. II, p. 422) ; lorsque la roche n'est pas stratifiée, c'est un granit talqueux.

Quartzite, ou Roche de quartz. Roche stratifiée ; agrégat de grains de quartz (voy. t. II, p. 424).

Roche de hornblende, ou Amphibolite. Voyez ci-dessus (t. II, p. 243). Membre à la fois de la série métamorphique et de la série volcanique. Composition du schiste à hornblende ; mais l'amphibolite n'est pas fissile.

ROCHE DE QUARTZ, ou QUARTZITE. Voyez ce dernier nom.

SCHISTE ACTINOLITIQUE. Roche schisteuse, feuilletée, composée principalement d'actinolite [minéral vert-émeraude, voisin du hornblende (1)], avec mélange de grenat, mica et quartz.

SCHISTE A CHIASTOLITE. Il diffère peu du schiste argileux, mais il renferme de nombreux cristaux de Chiastolite ; épaisseur considérable dans le Cumberland. La chiastolite est en longs cristaux, minces, rhomboïdaux. Pour sa composition, voyez le tableau, tome II, page 215.

SCHISTE A HORNBLENDE. Composé de hornblende et de feldspath (voy. t. II, p. 423).

SCHISTE ARGILEUX. Voyez tome II, page 424.

SCHISTE CHLORITIQUE. Voyez CHLORITO-SCHISTE.

SCHISTE MICACÉ, ou MICASCHISTE. Voyez ce nom.

SCHISTE TALQUEUX (2). Composé principalement de talc, ou de talc et de quartz, ou de talc et de feldspath ; sa texture ressemble quelquefois à celle du schiste argileux.

TALCHISTE. Voyez note au bas de la page.

ORIGINE DES ROCHES MÉTAMORPHIQUES.

J'ai traité longuement de la composition minérale des roches métamorphiques ; il me reste maintenant à développer les détails de leur structure et leur histoire, à donner en même temps le précis des opinions qui ont été successivement émises sur leur origine probable. Mais, d'abord, je préviens le lecteur que nous mettons ici le pied sur un sol peu sûr, et que bientôt nous atteindrons les limites au delà desquelles devront cesser toutes les inductions positives, et ne commencer que de simples conjectures. Une hypothèse fut jadis très en faveur, et même encore aujourd'hui compte des partisans dans quelques géologues : on suppose que la texture cristalline et l'absence de toutes traces d'origine mécanique ou de contenu organique au sein des roches métamorphiques proviennent d'une condition particulière qu'aurait présentée la planète à l'époque de leur formation. J'examinerai en dé-

(1) Pour les minéralogistes français, l'actinolite s'appelle simplement *actinote*, et constitue l'une des trois sous-divisions de l'amphibole. (*Note du traducteur.*)

(2) On lui donne aussi le nom de *talschiste*. (*Ibid.*)

tail les arguments qui combattent cette hypothèse, lorsque je montrerai, dans le dernier chapitre de ce volume, à combien d'âges différents se rapportent les formations métamorphiques, comment aussi ont été produits le gneiss, le micaschiste, le schiste argileux et le calcaire hypogène (celui de Carrare, par exemple), et cela, non-seulement à dater de la première introduction des corps organiques sur la terre, mais encore longtemps après la succession de plusieurs des différentes races de plantes et d'animaux.

La doctrine qui a trait aux couches cristallines comprises sous le nom de métamorphiques doit trouver place immédiatement ici ; nous chercherons d'abord si réellement on est autorisé à donner à ces couches l'épithète de stratifiées, dans le sens strict de ce mot, c'est-à-dire de roches déposées primitivement au sein des eaux sous forme de sédiment. Cette épithète, que les géologues ont généralement adoptée pour désigner les roches métamorphiques, indique suffisamment la divisibilité de celles-ci en lits très analogues, au moins quant à la forme, aux couches fossilifères ordinaires. La ressemblance, du reste, n'est point du tout limitée à l'existence accidentelle, dans les deux groupes de roches, de la même structure laminaire, mais elle s'étend à toute espèce de disposition en harmonie avec l'absence de fossiles, sable, galets, ondulations et autres caractères que la théorie métamorphique suppose avoir été anéantis par l'action plutonique. Ainsi, on trouve au sein des formations cristallines, aussi bien que dans les formations fossilifères, une alternance de lits variant beaucoup pour la composition, la couleur et l'épaisseur. Le gneiss s'y trouve entremêlé de petites bandes de schiste amphibolique noir, ou de chlorito-schiste vert, ou bien encore de quartz grenu ou de calcaire ; l'échange entre ces différentes matières peut se répéter un nombre de fois indéfini. Le micaschiste alterne de même avec le chloritoschiste, ou avec des lits de quartz pur, ou des couches de calcaire lamellaire.

Nous avons déjà dit que près du contact immédiat des

veines granitiques et des dykes volcaniques, on observait des altérations profondes de la roche, plus spécialement au voisinage du granit. Il sera peut-être utile ici d'ajouter d'autres exemples pour démontrer qu'une texture impossible à distinguer de celle qui caractérise les formations métamorphiques les plus cristallines a transformé des couches jadis fossilifères.

L'extrémité méridionale de la Norwége comprend un large district qui occupe le bord occidental du fiord de Christiania, et, dans cette circonscription, le granit et la syénite percent, par places, à travers les couches fossilifères, ou bien, ce qui est plus habituel, envoient des veines au sein de ces couches, au point de contact. Les roches stratifiées de cet endroit, pétries de coquilles et de zoophytes, consistent principalement en schistes, calcaires et grès ; elles sont invariablement altérées près du granit, par exemple à 45 et jusqu'à 365 mètres. Les schistes alumineux ont durci et sont devenus siliceux ; ils ressemblent parfois à du jaspe. Le durcissement de bandes alternatives d'un schiste vert et brun-chocolat a donné lieu à un véritable jaspe rubané ; chaque nuance reproduit fidèlement les lignes primitives de stratification. Plus près du granit, le schiste contient souvent des cristaux de hornblende que l'on voit même à une distance de plusieurs centaines de mètres du point de jonction ; ce hornblende de couleur noire s'y trouve tellement abondant, que des géologues éminents, voyageant dans la contrée, ont pris la roche pour le schiste amphibolique ancien subordonné à la grande formation de gneiss en Norwége. Fréquemment aussi apparaissent dans la masse, entre le granit et le schiste amphibolique mentionné ci-dessus, des paillettes de mica et du feldspath lamellaire ; cette association minérale ressemble soit à un gneiss, soit à un micaschiste. On découvre rarement des fossiles à travers ces schistes, et les quelques débris qu'ils pourraient fournir disparaissent à mesure que la roche devient plus cristalline, c'est-à-dire qu'elle se rapproche davantage du granit. En quelques endroits, la matière siliceuse

du schiste est devenue du quartz cristallin, et lorsqu'il s'y ajoute du hornblende et du mica, la roche altérée perd sa stratification, et passe à une sorte de granit. Le calcaire qui, loin de cette dernière roche, offre une texture terreuse et une couleur bleuâtre, qui souvent aussi abonde en coraux, devient au contraire, en s'en rapprochant, un marbre blanc saccharoïde, quelquefois siliceux ; la structure lamellaire continue, en certains cas, jusqu'à plus de 365 mètres du contact. Les coraux sont, la plupart, profondément altérés quant à leur

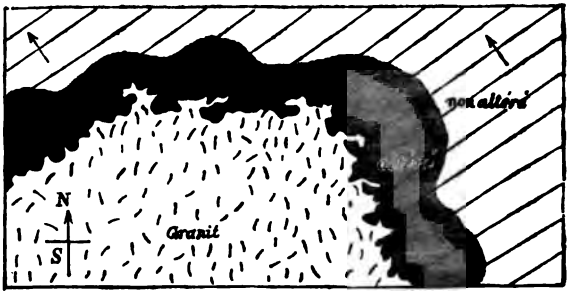


Fig. 706. — Zone d'altération des schiste et calcaire fossilifères près du granit ; Christiania. *Les flèches indiquent le plongement, et les lignes droites la direction des lits.*

forme, mais cependant il en subsiste quelques-uns bien conservés, même dans le marbre blanc. Le calcaire et le schiste endurci contiennent tous deux des grenats assez fréquents ; on y remarque, de plus, des minerais de fer, de plomb, de cuivre et un peu d'argent. Les altérations existent, soit que le granit traverse les couches fossilifères parallèlement à leur direction générale, soit qu'il les pénètre perpendiculairement à cette direction, comme nous l'avons montré par le plan ci-dessus (1).

Les schistes endurcis et rubanés dont il a été question précédemment montrent une étroite ressemblance avec certaines argiles schisteuses du terrain houiller de Russel's Hell, près Dudley : en cette localité, le combustible a brûlé sous terre pendant des années. Des lits d'argile schistoïde, d'une épais-

(1) Keilhau, *Gea Norvegica*, pp. 61, 63.

seur considérable, recouvrant la houille en ignition, ont été calcinés et endurcis à tel point qu'ils ont acquis une cassure siliceuse, et les petites bandes en sont devenues alternativement vertes et rouge-brique.

Le granit du Cornouailles, aussi, envoie des veines au travers du schiste argileux grossier appelé par les gens du pays *killas*. Le killas est converti en schiste amphibolique près de son contact aux veines. Le phénomène se voit très bien à la jonction du granit et de la roche en question, à Saint-Michael's Mount (Mont Saint-Michel), petite île d'environ 90 mètres de haut, située dans la baie, à la distance d'environ 35 kilomètres de Penzance.

Le granit lui-même de Dartmoor, en Devonshire, se serait introduit, d'après Sir H. de La Bèche, dans les ardoises et grès ardoisiers appelés grauwackes, plissant et contournant les strates sur son passage, et leur envoyant des ramifications. Par suite, quelques-unes de ces roches schisteuses seraient devenues « micacées; d'autres, plus endurcies, auraient gagné les caractères du micaschiste et du gneiss ; le reste, enfin, aurait été transformé en une roche dure, zonée, fortement chargée de feldspath (1). »

Il résulte des recherches de M. Dufrénoy que, dans les Pyrénées-Orientales, existent des massifs granitiques d'âge postérieur aux formations appelées lias et craie en ce pays, et que ces roches fossilifères sont fortement altérées dans leur texture, et souvent imprégnées de minerai de fer au voisinage du granit. Ainsi, aux environs de Saint-Martin, près Saint-Paul de Fénouillet, le calcaire crayeux devient plus cristallin et saccharoïde à mesure qu'il approche du granit, et il perd toutes traces des fossiles qu'il contenait d'abord en abondance ; sur quelques points aussi, ce calcaire devient dolomitique, et se montre tout pénétré de petites veines de carbonate de fer, ou tacheté de minerai rouge du même métal (fer oligiste). A Rancié, le lias, près du granit, est non-seule-

(1) *Geol. Manual*, p. 479.

ment imprégné d'oxyde de fer, mais chargé de pyrite, de trémolite, de grenat, ainsi que d'un minéral un peu analogue au feldspath, et que l'on appelle *Couzéranite*, d'après la localité où il se trouve plus spécialement.

Or, les altérations que nous venons de décrire comme ayant été produites dans les roches par les dykes volcaniques et les veines granitiques, prouvent incontestablement que la nature possède des moyens de transformer des strates fossilifères en couches cristallines, de déterminer au sein des lits un caractère minéral nouveau semblable, sinon tout à fait identique avec celui du gneiss, du micaschiste et d'autres membres stratifiés de la série hypogène. La nature précise de ces causes d'altérations que l'on nomme provisoirement plutoniques est des plus obscures, des plus douteuses; mais la réalité des faits existe, et nous devons admettre que l'influence de la chaleur a eu des rapports avec la transmutation, si, pour les raisons que nous avons développées, on accepte l'origine ignée du granit.

Les expériences de Grégoire Watt qui a fondu diverses roches dans son laboratoire pour les laisser ensuite se solidifier par un refroidissement lent, prouvent d'une manière péremptoire qu'une masse minérale peut très bien, sans avoir subi une fusion complète, prendre un nouvel arrangement moléculaire, et acquérir une cristallisation partielle (1). Il est donc facile de comprendre que toutes traces de coquilles et d'autres débris organiques disparaissent, et que de nouvelles combinaisons chimiques aient lieu, sans supposer la masse injectée à un degré de fusion qui efface toute ligne de stratification.

Il ne faut pas croire, cependant, que la chaleur agissant sur une masse pierreuse, à l'air libre, soit tout ce que peut fournir la cause plutonique : nous n'ignorons pas que les volcans en éruption rejettent non-seulement de la lave fluide, mais encore de la vapeur et des gaz chauds qui s'échappent du

(1) *Philos. Trans.*, 1804.

cratère, en tourbillons énormes, et cela, pendant des jours, des semaines ou même des années sans discontinuité ; la vapeur et les gaz continuent à se dégager de la lave pendant toute la durée de sa consolidation. Par conséquent, lorsque les matières composantes du granit arrivent au contact des strates fossilifères, dans les entrailles de la terre, la pression, à ces profondeurs, étant véritablement prodigieuse, les fluides aériformes ne peuvent s'échapper ; mais, arrivant aux roches, ils passent à travers leurs pores plus facilement que ne le ferait l'eau elle-même (t. I, p. 58). Ces fluides, tels qu'hydrogène sulfuré, acide chlorhydrique et acide carbonique, sortent ensuite, en différents points, des fissures de la roche qu'ils ont décolorée et corrodée, amollie ou endurcie. Lorsque les couches sont humides, les gaz pénètrent plus facilement à travers la masse ; car, d'après les expériences de Henri, l'eau, sous une pression hydrostatique de 29 mètres, absorbe trois fois plus d'acide carbonique que sous la pression ordinaire de l'atmosphère. Bien que ce pouvoir d'absorption doive diminuer en raison de la température croissante des basses régions de la terre, le professeur Bischoff a démontré que la chaleur n'augmente pas dans une proportion qui soit capable de neutraliser l'effet de l'accroissement de pression (1). Du reste, d'autres gaz que l'acide carbonique sont absorbés par l'eau, et avec d'autant plus de facilité que la pression est plus considérable. On considère donc aujourd'hui les roches les plus compactes, qui n'ont pas été exposées à l'air, ni desséchées, comme de véritables éponges pour l'absorption, et presque toujours elles sont fortement imbibées d'eau. On comprend ainsi comment des gaz jouissant d'une température élevée, et arrivant au contact de ces roches, à de vastes profondeurs, se transmettent facilement à travers leurs pores. Bien que la matière gazeuse d'abord absorbée ne tarde pas à se condenser et à céder son calorique, cependant la succession très longue et continue des émissions

(1) *Pogg. Ann.*, n° XVI, 2° série, vol. III.

venant d'en bas finit par élever la température elle-même de l'eau et celle de la roche contenante.

M. Fournet a démontré, dans sa description du gneiss métallifère des environs de Clermont en Auvergne, que toutes les petites fissures de la roche sont complétement remplies de gaz acide carbonique libre ; le gaz sort abondamment du sol, sur ce point et en différents autres de la contrée voisine. Les éléments du gneiss sont tous, à l'exception du quartz, devenus terreux, et de nouvelles combinaisons de l'acide avec la chaux, le fer, et le manganèse, sont continuellement en voie de se former (1).

Les Stufas de Saint-Calogero, dans la plus grande des îles Lipari, nous fournissent un autre exemple de l'action ignée souterraine. En cette localité, d'après la description qu'en a publiée Hoffmann, on voit, sur près de 6 kilomètres le long de la côte, des couches horizontales de tuff formant des falaises de plus de 60 mètres de haut, et décolorées en divers endroits, ou profondément altérées par les vapeurs. Des argiles de couleur foncée sont devenues jaunes et souvent blanc de neige, ou bien ont acquis une structure bigarrée ou bréchiforme, traversées qu'elles sont de bandes ferrugineuses rouges. Sur certains points, les produits des fumerolles ont fourni, à l'analyse, des sublimés d'oxyde de fer ; mais il paraît aussi que des veines de calcédoine, d'opale et de gypse fibreux sont résultées des exhalations volcaniques (2).

Le lecteur consultera aussi avec fruit la description que M. Virlet a faite de la corrosion de roches dures, siliceuses et aspoïdes aux environs de Corinthe, corrosion exercée par l'action prolongée de gaz souterrains (3) ; il lira également avec intérêt les détails donnés par le docteur Daubeny sur la décomposition que les roches trachytiques, dans la solfatare

(1) Voyez *Principes*, etc., Index : Sources chargées d'acide carbonique, etc.

(2) Hoffmann, *Liparischen Inseln*, p. 38. Leipsick, 1832.

(3) Voyez *Principes de Géol.*, et *Bull. de la Soc. Géol. de France*, t. II, p. 230.

près de Naples, ont subie sous l'influence des gaz hydrogène sulfuré et acide chlorhydrique (1).

Bien que ces divers exemples ne nous montrent que des traits superficiels, il n'en est pas moins clair que les fluides gazeux ont dû traverser toute l'épaisseur des roches poreuses ou fissurées qui séparaient leurs réservoirs souterrains de l'air extérieur. La puissance totale de la croûte de la terre, que les vapeurs ont pénétrée ou sont en voie de pénétrer, peut aller jusqu'à plusieurs milliers de mètres, et l'action ignée, modifiante, de ces vapeurs s'étendre à travers la totalité de cette masse solide.

Nous savons, d'après les recherches du professeur Bischoff, qu'à Aix-la-Chapelle, la vapeur d'une source chaude, dont la température n'est cependant que de 133 à 167 degrés F., a converti la surface de certains blocs de marbre noir en une masse pâteuse. Ce savant pense donc que la vapeur, au sein de la terre, jouissant d'une température égale ou même supérieure à celle du point de fusion de la lave, et possédant une élasticité dont même la marmite de Papin ne donnerait qu'une faible idée, doit transformer les roches en matière liquide (2).

Les observations précédentes répondent d'avance à certaines objections spécieuses qui ont été faites contre la théorie du métamorphisme : on a invoqué pour les roches leur faible pouvoir conducteur du calorique ; en réalité, les masses pierreuses, une fois desséchées à l'air, diffèrent beaucoup, sous ce rapport, des métaux. On s'est donc demandé comment des changements qui ne sauraient s'étendre qu'à quelques décimètres du contact d'un dyke, avaient cependant pénétré à travers des masses montagneuses de couches cristallines mesurant plusieurs kilomètres de puissance. Nous avons fait voir que l'influence plutonique de la syénite, en Norwége, s'était, sur quelques

(1) Voyez *Principes de Géol.*, et Daubeny, *Volcanos*, p. 167.

(2) James, *Ed. New Phil. Journ.*, n° 51, p. 43.

points, exercée jusqu'à la distance de 460 mètres, soit dans le sens de leur plongement, soit dans celui de leur direction (voy. fig. 705, p. 430). C'est ici véritablement un cas extrême ; mais n'est-il pas beaucoup plus rationnel d'accorder à cette influence le pouvoir d'affecter, en certaines circonstances favorables, des masses épaisses, que d'inventer une cause entièrement nouvelle rendant compte de faits différant seulement par la quantité et non par la nature ? La théorie du métamorphisme n'assigne pas au granit exclusivement la faculté d'altérer par son contact les masses contiguës ; mais elle suppose simplement une action résidant à l'intérieur de la terre, à une profondeur inconnue, que cette action soit thermale, hydrothermale, électrique ou toute autre, pourvu qu'elle offre de l'analogie avec celle qui s'est exercée auprès des masses granitiques d'intrusion ; cette action a, durant le cours de périodes infinies, et tirant peut-être sa source d'un vaste milieu en ignition, réduit, sur une épaisseur de milliers de mètres, des strates à un état de demi-fusion, et ces strates, par le refroidissement, sont devenues cristallines comme le gneiss. Le granit est peut-être un autre résultat de la même action ; seulement celle-ci aurait atteint son plus haut degré d'intensité, et produit la roche par fusion ; de cette manière s'expliquerait facilement le passage du granit au gneiss.

Si donc l'on considère dans leur ensemble les diverses observations que nous venons de recueillir, savoir les formes de stratification et la schistosité des roches métamorphiques, leur passage, d'un côté, aux couches fossilifères, et, d'un autre côté, aux formations plutoniques, ainsi que les conversions incontestables survenues au voisinage du granit, on est en droit de conclure que le gneiss et le micaschiste ne sont autre chose que des grès micacés et argileux altérés, que le quartz en roche a dû provenir de grès siliceux, que le quartz grenu est peut-être résulté des mêmes matériaux. Le schiste argileux est une argile altérée, et le marbre saccharoïde fut d'abord un calcaire ordinaire rempli de coquilles et

de coraux, plus tard transformé; enfin les sables et marnes calcaires ont été changés en calcaires impurs cristallins.

« Le schiste amphibolique, dit le docteur Mac-Culloch, paraît avoir été simplement une argile, car on observe des argiles ou argiles schisteuses converties par le trapp en Lydienne, substance qui ne diffère guère du schiste amphibolique (1) que par la compacité et l'uniformité de texture (2). Dans l'île Shetland, remarque le même auteur, le schiste argileux, au contact du granit, est parfois transformé en schiste amphibolique : le schiste est devenu d'abord siliceux, puis, au contact immédiat, il en est résulté un véritable schiste à hornblende (3). »

L'anthracite et le graphite, que renferment parfois les roches hypogènes, ont sans doute été jadis de la houille; car celle-ci, comme nous l'avons remarqué, se convertit en anthracite non-seulement au voisinage de certains dykes trappéens, mais encore loin du contact des roches ignées, dans la région disloquée des Appalaches (4). A Worcester, à 72 kilomètres Ouest de Boston, État de Massachusets, existe un lit de plombagine (graphite) et d'anthracite impur alternant avec le micaschiste. Ce lit mesure environ $0^m,60$ d'épaisseur; on l'a exploité à la fois pour en tirer du combustible et pour en fabriquer des crayons. A la distance de 48 kilomètres de la plombagine, on observe, vers les confins de Rhode Island, un anthracite impur en plaques qui contiennent des empreintes de plantes houillères des genres *Pecopteris*, *Nevropteris*, *Calamites*, etc. Ce minéral, pour son caractère, tient le milieu entre l'anthracite de Pennsylvanie et la plombagine de Worcester dans laquelle les matières gazeuses ou volatiles (hydrogène, oxygène et azote) sont au

(1) Les minéralogistes français entendent un peu différemment la Lydienne : ils la considèrent comme une sorte de jaspe noir, et par conséquent de composition assez éloignée de celle d'une roche à amphibole. (*Note du traducteur.*)

(2) *Syst. of Geol.*, vol. I, p. 210.

(3) *Ibid.*, vol. I, p. 211.

(4) Voyez ci-dessus, t. II, pp. 110, 118.

carbone dans la proportion de 3 à 100. J'ai parcouru la contrée suivant diverses directions, et j'ai acquis la certitude que les schistes carbonifères à anthracite et plantes, qui souvent, à Rhode Island, passent au micaschiste, ont acquis, à Worcester, une texture complétement cristalline et métamorphique : l'anthracite a été partiellement transformé en cette sorte de carbone pur que l'on appelle plombagine ou graphite (1).

Suivant M. Delesse, les minéraux du calcaire hypogène varient suivant le degré de métamorphisme que la roche a subi : par exemple, lorsque la structure n'est que légèrement cristalline, le talc, la chlorite, la serpentine, l'andalousite et le disthène (kyanite) y dominent ; mais si la texture est cristalline d'une manière plus prononcée, on remarque plus spécialement dans la masse les espèces grenat, hornblende, wollastonite, dipyre, couzéranite et quelques autres ; enfin, dans les cas où la roche est complétement cristalline, on observe, outre plusieurs des minéraux précédents, du mica et du feldspath, ce dernier se rapportant surtout aux variétés les plus riches en alcali. Le même auteur ajoute : Comme les dépôts calcaires contiennent habituellement de l'argile alumineuse, on peut naturellement s'attendre à rencontrer des silicates d'alumine dans ces roches, lorsqu'elles sont cristallines ; c'est effectivement ce qui a lieu fréquemment, et parfois aussi on y trouve de l'alumine pure cristallisée sous la forme de corindon (2).

M. Dana pense que l'acide phosphorique du phosphate de chaux et le fluor du spath-fluor, révélés si souvent par l'analyse dans les calcaires cristallins, dérivent de débris de mollusques et d'autres animaux ; de même, le graphite (qui est du carbone pur sous forme cristalline, avec ou sans mélange d'alumine, de chaux ou de fer) proviendrait de restes végétaux enfouis dans une gangue primitive.

(1) Lyell, *Quart. Geol. Journ.*, vol. I, p. 199.

(2) Delesse, *Bulletin de la Société Géol. de France*, 2e série, t. IX, p. 126, 1851.

Se fondant sur l'absence totale de toutes traces de fossiles au sein des couches cristallines, quelques géologues ont attribué l'origine de ces couches à une période antérieure à l'existence des êtres organisés. Dans les formations postérieures à la création des êtres, on peut admettre quelquefois, disent-ils, la destruction des fossiles par l'action plutonique ; mais ne devra-t-on point découvrir plus fréquemment leurs dépouilles à travers certains systèmes anciens de schistes qui, par exemple dans le Cumberland, contiennent des conglomérats ? Mais en raisonnant ainsi, ces géologues paraissent avoir oublié qu'il existe des formations stratifiées d'une puissance énorme et d'âges différents, quelques-unes très modernes, toutes produites après l'apparition des êtres vivants sur la terre, lesquelles, néanmoins, dans certains districts, sont complétement dépourvues de vestiges de corps organisés. Chez quelques-unes d'entre elles, les fossiles ont été effacés par l'eau et les acides, à plusieurs époques successives ; il est clair alors que c'est dans la couche la plus ancienne que l'on a le moins de chance de trouver des fossiles, même en supposant que cette couche ait échappé à toute action métamorphique.

On a objecté aussi à la théorie du métamorphisme, que la composition chimique des strates secondaires diffère essentiellement de celle des schistes cristallins qui seraient résultés de leur transformation (1). Les schistes *primaires*, a-t-on allégué, contiennent habituellement une proportion considérable de potasse ou de soude, que n'ont pu leur fournir les argiles secondaires et les schistes, ces derniers étant le résultat de la décomposition de roches feldspathiques desquelles la matière alcaline s'est éloignée pendant le processus de décomposition. Mais ce raisonnement repose sur une base peu fondée et trompeuse, car un grand nombre de variétés de roches qu'on a l'habitude d'appeler schiste, marne, argile, schiste argileux et argile schisteuse, contiennent une cer-

(1) Dr Boase, *Primary Geology*, p. 319.

taine proportion d'alcali, ou même, quelquefois, une quantité considérable; de telle sorte qu'il est difficile, en beaucoup de pays, de trouver de l'argile ou du schiste argileux assez libres d'éléments alcalins pour pouvoir être employés dans la poterie.

Les argiles et schistes argileux du Vieux Grès Rouge, dans le Forfarshire et autres parties de l'Écosse, sont tellement chargés d'alcali provenant de feldspath trituré, que souvent, au lieu de durcir au feu, ils fondent en verre. Ils ne contiennent pas de chaux, mais paraissent composés de grains extrêmement fins de divers éléments du granit, que l'on distingue au milieu des variétés plus grossières et de la plupart des grès alternant avec ces dernières. Ces argiles et schistes argileux feuilletés ressembleraient certainement par la composition, s'ils cristallisaient, à plusieurs des couches primaires.

Il existe aussi de la potasse dans les débris de végétaux fossiles, et de la soude dans les sels dont les strates sont parfois fortement imprégnées en Patagonie. Enfin des analyses récentes ont démontré que les couches carbonifères en Angleterre (1), les Siluriens Supérieur et Inférieur dans l'Est-Canada (2), et les schistes argileux (de date Cambrienne?) en Norwége (3), contiennent tout autant d'alcali que les roches métamorphiques en général.

On a déduit une autre objection de l'alternance de couches fortement cristallines avec d'autres qui l'étaient moins. La chaleur, a-t-on prétendu, dans son mouvement ascensionnel, doit avoir traversé les schistes moins altérés avant de parvenir aux lits qui sont aujourd'hui les plus cristallins. En réponse à cette objection, je dirai d'abord qu'un certain nombre d'assises, différant beaucoup l'une de l'autre par leur composition, et venant à être soumises à une égale in-

(1) H. Taylor, *Ed. New Philos. Journ.*, vol. I, 1851, p. 140.
(2) Hunt, *Philos. Mag.*, 4e série, vol. VII, p. 237.
(3) Kyerulf, *Norsk. Mag. for Naturvidenp*, vol. VIII, p. 172.

tensité de chaleur, ne montreront pas, suivant toute probabilité, le même degré de fusibilité relative. Les unes, par exemple, contiendront de la potasse, de la soude, de la chaux ou autres éléments capables d'agir comme flux ; d'autres seront dépourvues de ces mêmes éléments, et par conséquent se montreront tellement réfractaires, qu'elles seront très peu affectées par la quantité de calorique suffisante pour réduire d'autres roches à l'état de demi-fusion. Il ne faut pas non plus perdre de vue qu'en thèse générale, les masses les moins cristallines se rencontrent plutôt à la partie supérieure, et les plus cristallines au niveau inférieur de chaque série métamorphique.

De plus, le métamorphisme a dû souvent exercer sa force longtemps après que les couches avaient acquis leur position verticale ; il peut agir de même aujourd'hui, dans une sphère plus restreinte, et continuer son influence sur les nouveaux tout aussi bien que sur les anciens lits. Pour prouver la conversion partielle en gneiss de certaines portions de couches fortement inclinées, je citerai le Mémoire de Sir R. Murchison sur la structure des Alpes. Des schistes, que l'on désigne dans le pays sous le nom de *Flisch* (voy. ci-dessus, t. I, p. 361), et qui surmontent le calcaire nummulitique d'âge Éocène, — en plus de ces schistes, quelques bandes arénacées et d'autres, calcaires, alternent un grand nombre de fois avec des assises de roche granitoïde analogue par ses caractères au gneiss (1). Dans ce cas particulier, la chaleur ou la vapeur, ou bien l'eau à une température excessivement élevée, ont peut-être traversé les couches plus perméables et les ont altérées au point de déterminer un mouvement intérieur et un arrangement nouveau des molécules ; les couches adjacentes n'ont point donné passage aux mêmes agents, ou, si elles leur ont laissé la voie libre, du moins n'ont-elles pas été influencées : elles ne contenaient pas de matériaux aussi fusibles. Quelle que soit l'hypothèse que l'on adopte, les

(1) *Geol. Quart. Journ.*, vol. V, p. 211, 1848.

phénomènes établissent sans contestation la possibilité du développement, dans un dépôt tertiaire, de la structure métamorphique suivant les joints parallèles à la stratification.

Que ce parallélisme soit la règle ou qu'on ne doive l'accepter que comme une exception pour le gneiss et pour le micaschiste ou autres formations de la même famille, c'est là une question importante que je discuterai en détail dans le prochain chapitre.

CHAPITRE XXXVI.

ORIGINE DES ROCHES MÉTAMORPHIQUES (*suite*).

Définition des joints, du clivage schisteux et de la division en feuillets. — Causes supposées de ces sortes de structure. — Théorie mécanique du clivage. — Raccourcissement et allongement de roches schisteuses par pression latérale. — Combinaison possible des forces cristalline et mécanique. — Schistosité de certaines roches volcaniques, due au mouvement. — La structure feuilletée des schistes cristallins est-elle ordinairement parallèle aux plans primitifs de stratification? — Exemples en Norwége et en Suède. — La division en feuillets, dans les roches homogènes, peut coïncider avec les plans de clivage, et, chez celles qui ne se clivent pas, elle correspond parfois au sens de stratification. — Causes d'irrégularités dans les plans des feuillets.

Nous avons déjà vu que des forces cristallines d'une grande intensité s'étaient fréquemment exercées sur des couches sédimentaires et fossilifères, longtemps après leur consolidation ; on demandera ici, naturellement, si les minéraux composants des roches altérées se disposent habituellement dans un sens parallèle aux plans originels de stratification, ou bien si, après la cristallisation, ils ont pris plus ordinairement une autre position.

Pour mieux saisir toute la portée de cette question, il est bon d'apprendre d'abord à bien distinguer ces mots *clivage* et *division feuilletée*. On compte quatre genres distincts de structure des roches, savoir : la stratification, les joints, le clivage schisteux (schistosité) (1) et les feuillets; ces quatre genres exigent des noms particuliers, bien que, dans certains cas, même après l'étude la plus attentive, il soit impossible de dire à quelle classe chacun d'eux appartient.

Le professeur Sedgwick, dont l'essai *On the Structure of large Mineral masses* (sur la structure de grandes masses

(1) Nom adopté par les géologues français. (*Note du traducteur.*)

minérales) a jeté un premier jour sur ce sujet obscur, établit que les *joints* se distinguent des lignes de *clivage schisteux*, en ce qu'une roche intervenant entre deux joints n'offre plus de tendance à se cliver dans une direction parallèle aux plans de ceux-ci, tandis qu'elle est susceptible de sous-divisions à l'infini suivant le sens de son clivage schisteux particulier (1). Dans quelques cas où les couches sont courbes, les plans de clivage se montrent encore parfaitement parallèles. On en observe un exemple dans les roches schisteuses d'une partie des Galles (fig. 706) ; ces

Fig. 706. — Plans parallèles de clivage coupant des couches recourbées (Sedgwick).

roches consistent en un schiste dur, verdâtre (phyllade). Le véritable sens des couches de cette localité est indiqué par un grand nombre de bandes parallèles, les unes plus foncées et les autres plus claires que la teinte générale de la masse. Ces bandes concordent avec les véritables plans de stratification, partout où ceux-ci se manifestent par des ondulations ou des lits contenant des corps organiques particuliers. Quelques-unes des couches contournées montrent une structure mécanique grossière, et alternent avec des schistes chloritiques cristallins à grains fins ; alors, le même clivage schisteux traverse les lits plus grossiers comme les plus fins, d'autant plus net cependant que les matériaux composants de la roche sont plus ténus et plus homogènes. Dans le cas, seulement, d'éléments tout à fait grossiers, les plans de clivage disparaissent complétement. Ces plans inclinent d'ordinaire sous un angle très aigu relativement à celui des couches. Dans les Welsh (collines ainsi nommées), la valeur moyenne de l'incidence est à peine de 30 à 40 degrés.

(1) En d'autres termes, et plus brièvement : le clivage schisteux sous-divise une roche entre deux joints. (*Note du traducteur.*)

Quelquefois les plans de clivage plongent vers le même point de la boussole que ceux de stratification, mais plus fréquemment c'est dans des directions opposées. On peut établir la règle générale suivante : Lorsque des lits de matériaux grossiers alternent avec d'autres lits composés de particules plus fines, le clivage schisteux se trouve limité à ces derniers, ou ne se montre que très imparfaitement dans les premiers. Et cette règle est vraie, que le clivage soit parallèle ou ne le soit pas aux plans de stratification (1).

Quant aux *joints*, ce sont des fissures naturelles qui souvent traversent les roches en lignes droites et parfaitement nettes. Ils fournissent au carrier, ainsi que l'observe M. Murchison parlant du phénomène tel qu'il se montre dans le Shropshire et les comtés environnants ; ils fournissent, disons-nous, le plus utile secours au mineur pour conduire l'extraction des blocs ; et si un nombre suffisant de joints se croisent les uns les autres, la masse entière de la roche se sépare en portions symétriques. Les faces des joints sont généralement plus unies et plus régulières que celles des véritables strates. Les joints sont des fentes étroites, souvent un peu béantes, passant la plupart non-seulement au travers de dépôts successifs, stratifiés, mais encore partageant des masses arrondies de calcaire ou d'autres matières qui ont été formées par voie de concrétion postérieurement à l'accumulation des couches. Les joints, par conséquent, se sont probablement produits par suite de l'un des derniers changements qu'auraient subis les dépôts sédimentaires (2).

Dans le diagramme suivant (fig. 707), les surfaces planes A, B, C, représentent des portions exposées de joints, auxquelles des faces d'autres joints, JJ, sont parallèles ; SS sont les lignes de stratification ; DD, celles de clivage schisteux, coupant sous un angle aigu les plans de stratification.

(1) *Geol. Trans.*, 2e série, vol. III, p. 461.

(2) *Silurian System*, p. 216.

Dans les Alpes de la Savoie et de la Suisse, ainsi que l'a observé M. Bakewell, d'étroites solutions de continuité, presque verticales, coupent régulièrement d'énormes masses calcaires ; les joints y sont quelquefois beaucoup plus sensibles

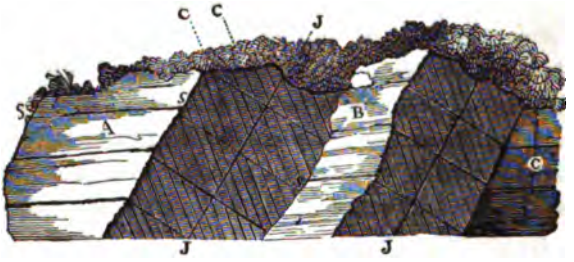


FIG. 707. — Stratification, joints et clivage
(D'après le *Silurian System* de Murchison, p. 245.)

que les divisions de la stratification, et un géologue non expérimenté les confond presque inévitablement : il suppose que les couches sont perpendiculaires, sur des points cependant où, de fait, elles se dirigent presque horizontalement (1).

Or, on a cru voir dans ces joints des divisions analogues à celles qui séparent les roches volcaniques et plutoniques en masses cuboïdes ou prismatiques. On remarque, sur une petite échelle, que l'argile ou l'amidon se partagent, en séchant, sous des formes semblables ; la cause en est due souvent à une simple contraction, soit que le retrait provienne de l'évaporation de l'eau, soit qu'il appartienne à un changement de température. Un fait est parfaitement connu : c'est que divers grès et autres roches se dilatent sous l'influence d'une élévation modérée de température, et ensuite se contractent par le refroidissement ; sans aucun doute, aussi, de vastes portions de la croûte terrestre ont, durant le cours des âges, été soumises itérativement à des conditions très variables de chaleur et de froid. Ces alternatives de température ont probablement contribué, dans de très larges proportions, à la production des joints à travers les roches.

(1) *Introduction to the Geology*, chap. IV.

Dans quelques contrées, par exemple en Saxe, où les masses de basalte reposent sur le grès, la roche aqueuse a pris, jusqu'à une distance de plusieurs décimètres à partir du point de jonction, une structure colonnaire semblable à celle du trapp. De même, certaines masses exposées à la chaleur d'un fourneau sans atteindre, cependant, le point de fusion, ne sont pas moins devenues prismatiques. Des cristaux aussi acquièrent, sous l'influence de la chaleur, une autre disposition moléculaire : ils se clivent dans une nouvelle direction, leur forme extérieure restant la même (1).

Le professeur Sedgwick, parlant des plans de clivage schisteux lorsqu'ils sont décidément distincts de ceux de la sédimentation (des lits, des couches, des strates), déclare, dans l'ouvrage que nous avons cité, que, suivant son opinion, ni retrait des parties, ni contraction dans les dimensions des roches passant à l'état solide, ne sauraient rendre compte du phénomène. Il le rapporte donc à des forces cristallines ou polaires agissant simultanément et avec assez d'uniformité, suivant des directions déterminées, sur de larges masses ayant une composition homogène.

Quant au clivage schisteux, Sir John Herschell pense que « des roches chauffées à un degré suffisant pour commencer à cristalliser, c'est-à-dire portées à une température qui permette aux particules de se mouvoir, au moins chacune autour de son axe, de telles roches doivent obéir à quelque loi générale déterminant la position dans laquelle les fines parties se grouperont en refroidissant. Probablement cette position aura de certains rapports avec la direction de la chaleur. Or, lorsque toutes ou presque toutes les molécules d'une même nature montrent une tendance générale à un arrangement de ce genre, il doit naître un sens particulier de

(1) Il en est ainsi de l'*Ouralite*, minéral décrit par M. G. Rose, et qui se rencontre en cristaux dans les diorites de l'Oural ; ces cristaux ont la forme du pyroxène (augite), mais ils possèdent un clivage de 124° 30' propre à l'amphibole hornblende ; leur structure intérieure aurait donc, ici, été modifiée postérieurement à leur formation, par voie de métamorphisme igné. (*Note du trad.*)

clivage. C'est ainsi que nous voyons des cristaux infiniment petits, récemment précipités de sulfate de baryte ou d'autres dissolutions analogues, se disposer d'eux-mêmes au sein du fluide qui leur a servi de véhicule ; lorsque, après, on agite le dépôt, on voit tous ces cristaux briller suivant une même direction parallèle ; ils ressemblent à des filaments soyeux. Certaines sortes de savons à margarates insolubles (1) montrent le même phénomène dans l'eau. Or, ce que fournissent nos expériences en petit doit se reproduire également dans la nature sur une plus grande échelle (2). »

D'après les observations du professeur Phillips, des coquilles et trilobites fossiles, au sein de certaines roches schisteuses, auraient été fortement déformés quant à leurs contours, et tordus suivant toute espèce de direction. Ce changement, ajoute-t-il, semble être résulté d'un mouvement « d'étirage » (*creeping*) des particules de la roche le long des plans de clivage ; la direction en est toujours uniforme pour une même localité, et l'on peut, dans quelques cas, mesurer l'étendue de la déformation, qui va jusqu'à 6 et même 12 millimètres. Les coquilles dures ne sont point affectées, mais seulement les plus minces (3). M. le docteur Sharpe, poursuivant le même genre de recherches, est arrivé à conclure que les formes tordues actuelles des coquilles, au milieu de plusieurs roches schisteuses en Angleterre, peuvent s'expliquer par la supposition que ces roches auraient subi une compression perpendiculaire aux plans de clivage, et une expansion correspondante suivant le sens de plongement du même genre de division (4).

(1) L'acide margarique est un acide oléagineux que l'on extrait de différentes matières grasses animales ou végétales. Un margarate est une combinaison de l'acide précédent avec la soude, la potasse ou autres bases, et tire son nom de l'éclat perlé qu'il présente.

(2) Lettre adressée à l'auteur, du Cap de Bonne-Espérance, en date du 20 février 1836.

(3) *Report Brit. Assoc.*, Cork, 1843, Sect. p. 30.

(4) *Quart. Geol. Journ.*, vol. III, p. 87, 1847.

Plus récemment (juillet 1853), M. Sorby a démontré jusqu'à quel point cette théorie mécanique est applicable aux roches schisteuses de la Galles du Nord et du Devonshire (1), districts où l'on rencontre de nombreuses occasions de constater et mesurer l'étendue des changements, par la comparaison des différents effets qu'a produits la pression sur des lits alternants de matériaux plus fins ou plus grossiers. On verra, par exemple (fig. 708), que le lit sableux *df*, dont la résistance fut énergique, est cependant contourné sous les angles les plus aigus, tandis que les couches à grain fin, *a*, *b*, *c*, sont restées comparativement intactes. Les points *d* et *f*, dans la couche *df*, ont dû primitivement être quatre fois plus éloignés qu'ils ne le sont aujourd'hui. Ils ont donc été fortement poussés l'un contre l'autre, en partie par le plissement, en partie par l'allongement, suivant la direction de ce que l'on peut appeler les axes plus longs de contorsion, et enfin, jusqu'à un certain point, par la condensation. Le résultat principal provint du plissement ; mais, comme

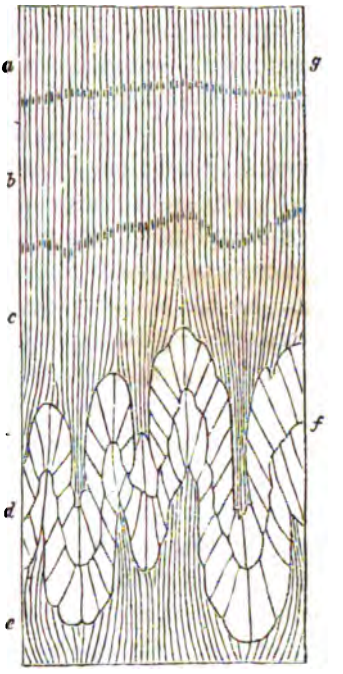


FIG. 708. — (Croquis par H. C. Sorby).
Coupe verticale de schistes dans les falaises des environs de Ilfracombe, Devon septentrional.
Échelle = 4 pouce au pied (0m,025 au 0m,30).
a, *b*, *c*, *e*. — Schistes fins, dont la stratification, sur place, se distingue en partie par des teintes plus claires ou plus sombres, et en partie par des degrés différents de finesse des grains. — *df*. Schiste sableux, à grains plus grossiers, légèrement coloré, avec clivage moins distinct.

(1) *On the Origin of Slaty Cleavage*, par H.-C. Sorby (*Edinb. New Phil. Journ.*, 1853, vol. LV, p. 137).

preuve de l'allongement, nous ferons observer que l'épaisseur du lit *df* est aujourd'hui environ quatre fois plus considérable dans les portions qui suivent la direction principale des flexions que dans celles perpendiculaires à cette direction, et le même lit montre des plans de clivage parallèles au sens du mouvement le plus considérable, bien que ces plans soient beaucoup moins nombreux qu'à travers les couches schisteuses situées au-dessus et au-dessous.

Au-dessus du lit sableux *df*, la couche *c* est un peu dérangée, tandis que *b* l'est moins, et *a* pas du tout. Cependant toutes ces assises *c*, *b*, *a*, ont dû éprouver une pression aussi forte que *d*, les points *a*, *g*, étant aussi rapprochés l'un de l'autre que *d*, *f*. Les mêmes phénomènes se répètent avec les lits situés au-dessous de *d*, et l'on aurait pu s'en convaincre si l'on avait développé davantage la coupe vers le bas. Il semble donc que les assises à structure plus fine ont été réduites à un quart seulement de l'espace qu'elles occupaient précédemment ; un tel résultat doit être attribué, d'abord, à la condensation ou rapprochement de leurs plus minimes particules, qui explique la pesanteur spécifique beaucoup plus considérable de ces schistes ; ce résultat est dû ensuite à l'allongement opéré suivant la ligne de plongement de clivage, dont la direction générale est perpendiculaire à celle de la pression. « Ces cas et plusieurs autres, dans le Devon septentrional, dit M. Sorby, sont analogues à ce qui arriverait si une bande de papier était suspendue au sein de quelque matière plastique dont on modifierait ensuite les rapports et la valeur des diamètres : le tout étant comprimé dans la direction de la longueur de la bande de papier, celle-ci se plisserait ou se contournerait, tandis que la matière plastique changerait bientôt de dimensions sans éprouver les mêmes contorsions ; et la différence d'éloignement entre les extrémités du papier, mesurée en ligne directe ou en diagonale, indiquerait le changement qu'auraient subi les diamètres de la matière plastique. »

Le jeune géologue n'aura pas de peine à comprendre,

lorsque la forme d'un fossile, ou d'un cristal, ou d'une concrétion sphéroïdale a été modifiée par l'influence d'une pression latérale, que les contours extérieurs nouvellement acquis soient différents suivant qu'ils ont cédé à une ou plusieurs directions : ils se sont allongés seulement dans le sens du plongement du clivage, ou bien ils ont obéi à une traction perpendiculaire à ce plongement ; enfin, dans quelques cas, les deux mouvements ont agi à la fois. D'après l'examen de très petits cristaux, à l'aide du microscope, et par d'autres observations trop minutieuses pour devoir être relatées ici en détail, M. Sorby est arrivé à la conclusion que la condensation absolue des roches schisteuses peut aller en moyenne à la moitié environ de leur volume primitif. On doit attribuer cette diminution surtout au rapprochement des particules ; par l'effet de ce rapprochement ont disparu les vides qui existaient lors du simple contact des molécules. En dernier lieu, la modification est due sans doute à l'allongement qui a produit le clivage schisteux.

Presque toujours les paillettes de mica, dans certains schistes, sont, d'après l'étude qu'en a faite M. Sorby, disposées suivant le sens de clivage : tandis que dans toute roche semblable, mais exempte de ce dernier mode de division, les lamelles micacées ne montrent plus le même genre de direction. Leur position au milieu des schistes n'a-t-elle point été déterminée par le mouvement d'allongement dont nous avons parlé ailleurs? Pour répondre à cette question, M. Sorby imagina une expérience : il mêla quelques lamelles d'oxyde de fer à de la terre à pipes molle, en ayant soin de les faire incliner dans toutes les directions. Il modifia ensuite, artificiellement, les dimensions de la masse, d'une quantité égale à celle indiquée par des changements analogues dans les roches schisteuses ; puis, il dessécha la terre à pipes, et la calcina. Après cette dernière opération, ayant tenté de produire une surface plane perpendiculaire à la pression et dirigée suivant la ligne d'allongement, ou, en d'autres termes, suivant un plan correspondant à celui du plongement de clivage, il

observa que les particules s'étaient disposées de la même manière que dans les schistes de la nature, et que la masse avait acquis des facilités de division en feuillets minces et plats suivant le plan dont il a été question, tandis qu'elle ne cédait point dans le sens perpendiculaire au clivage (1).

Cette expérience nous autorise à admettre que la divisibilité laminaire du basalte, du trachyte et même de quelques variétés de gneiss, ainsi que de certains granits, est due à une cause mécanique, à un mouvement qui aurait eu lieu après le développement de cristaux au sein de la masse pâteuse.

M. Scrope, dans sa description des îles Ponza, attribue « la structure zonée de la perlite de Hongrie (trachyte semi-vitreux) à l'affaissement que cette lave aurait subi en obéissant à la loi de sa pesanteur propre, le long d'un plan légèrement incliné, pendant qu'elle était encore à un état de fluidité imparfaite. Aux îles Ponza et Palmarola, la direction des zones est plus fréquemment verticale qu'horizontale, car la masse a été poussée de bas en haut (2). M. Darwin attribue aussi la structure laminaire et fissile de diverses roches volcaniques de la série trachytique, y compris certaines obsidiennes de l'Ascension (Mexico) et d'autres localités, à des mouvements qui les auraient disposées, pendant qu'elles étaient encore liquides, sous forme de lames. Les zones consistent quelquefois en petites bandes de cellules étirées et allongées dans la direction supposée de la masse en mouvement. Il compare cette division en zones parallèles, qui s'est produite ainsi par l'extension d'une masse pâteuse coulant avec lenteur vers le bas, à la structure zonée ou rubanée d'un glacier, que le professeur James Forbes a si habilement expliquée par le fendillement d'un corps visqueux en progression (3).

Quelle que soit la cause du phénomène, le résultat, ajoute M. Darwin, n'en est pas moins digne de l'attention des géo-

(1) Sorby, cité ci-dessus page 449, note.
(2) *Geol. Trans.*, 2e série, vol. II, p. 227.
(3) Darwin, *Volcanic Islands*, pp. 69, 70.

logues ; dans une roche volcanique de la série trachytique, à l'Ascension, on voit souvent des bandes d'une ténuité extrême, minces pour ainsi dire comme des feuilles de papier, et de différentes couleurs, alterner entre elles un nombre infini de fois, quelques-unes composées de cristaux de quartz et de diopside (variété de pyroxène), d'autres parsemées de petites taches noires augitiques, avec granules d'oxyde de fer, et d'autres enfin remplies de feldspath cristallin. Il est à supposer, en pareil cas, que la force de cristallisation s'exerça plus librement suivant la direction des plans de clivage qui se produisirent lorsque la masse pâteuse s'étala, soit parce que les vapeurs contenues trouvèrent à s'épancher au travers de petites fissures, soit parce que les plus minimes molécules furent moins gênées dans leur mouvement le long des plans de tension moindre, soit enfin pour d'autres raisons encore inexpliquées.

M. Darwin, après une étude attentive des roches cristallines de l'Amérique méridionale, faite en 1835, a proposé le nom de *foliation* (feuilletage) pour indiquer la divisibilité en lames ou plaques des gneiss, micaschiste et autres roches semblables. Le mot clivage, observe ce géologue, doit s'appliquer à ces plans divisionnaires qui rendent une masse fissile bien que paraissant à l'œil complétement homogène ou à peu près. On doit employer l'expression de feuillets pour désigner ces bandes ou plaques alternatives, de nature minérale variée, dont se composent le gneiss et diverses roches métamorphiques. Les plans de clivage du schiste argileux de la Terre du Feu et du Chili conservent une direction uniforme sur des étendues de quelques centaines de kilomètres, en des contrées où ils sont tout à fait distincts de la stratification. Dans les mêmes pays, les plans des feuillets du micaschiste et du gneiss sont parallèles au clivage du schiste argileux ; d'où l'on serait porté, à première vue, à conclure que quelque cause commune, n'ayant aucun rapport avec la sédimentation, a imprimé le clivage à l'un des groupes de roches, et le feuilletage à l'autre groupe. Mais une telle

conclusion ne saurait être légitimement adoptée que pour les cas rares où l'on peut prouver par une coupe continue que non-seulement la direction, mais encore le plongement du clivage schisteux, d'une part, et des feuillets, de l'autre, coïncident d'une manière absolue ; il faut, de plus, la condition que le clivage ne soit point parallèle à la stratification de la roche schisteuse. Dans quelques exemples cités par M. Darwin, et observés à la Terra del Fuego, aux îles Chonos et à La Plata, l'uniformité de plongement du clivage schisteux et du feuilletage est si nettement accusée, qu'évidemment elle milite en faveur de l'opinion dont il s'agit. Mais il est prudent de se tenir en garde contre les sources d'erreur, en suivant cette longue chaîne de raisonnements. Un fait est incontestable, c'est que, dans l'Amérique méridionale comme en d'autres pays, la direction de clivage du schiste argileux concorde avec l'axe d'élévation de cette roche, pour les mêmes districts. Il s'ensuit que les *feuillets* des gneiss, micaschiste, calcaire ou autres roches cristallines, et même ceux des feuillets qui ne coïncident que légèrement avec les plans de stratification primitive, courent suivant le sens du clivage schisteux ; en effet, les véritables couches plongent toujours à angle droit par rapport à l'axe d'élévation, et lui sont parallèles en direction. On ne peut, par conséquent, tirer de l'uniformité de direction des roches schisteuses et feuilletées aucune preuve en faveur d'une origine commune ; il faut, en plus, la coïncidence de plongement : or, telle est la variation de plongement des schistes et des feuillets, que ce genre de preuve est difficile à obtenir.

Keilhau a depuis longtemps annoncé que les feuillets des schistes cristallins en Norwége s'accordent généralement avec les plans originels de stratification (1). De nombreuses observations faites par M. David Forbes dans le même pays (le plus classique probablement en Europe pour l'étude de ce genre de phénomène sur une grande échelle) ont confirmé

(1) *Norske Mag. Naturvidsk*, vol. I, p. 71.

la manière de voir de M. Keilhau : le plongement des assises siluriennes et fossilifères, sur les points où elles passent aux couches métamorphiques, concorde avec le feuilletage des gneiss, micaschiste et calcaire cristallin qui leur sont contigus. De même, aussi, en Écosse, M. le docteur Forbes a signalé un cas remarquable où le sens de la division en feuillets correspond tout à fait aux lignes de stratification des roches ; on observe ce cas non loin de Crianlorich, sur la route qui conduit à Tyndrum, à environ 12 kilomètres de Inverarnon, comté de Perth. La même localité fournit un calcaire bleu, feuilleté par la présence de petites paillettes de mica blanc, et souvent il est difficile de distinguer la roche, à son aspect, d'un gneiss ou d'un micaschiste. La stratification se compose de lits épais et bandes colorées de calcaire, le tout plongeant, de même que les feuillets, sous un angle de 35 degrés vers le Nord-Est (1).

Dans les formations stratifiées de chaque âge existent de petites bandes de sable pénétrées ou dépourvues de mica, qui alternent avec de l'argile, des fragments de coquilles et de coraux, ou des veines minces de matière végétale ; on peut supposer que l'attraction mutuelle de telles particules a favorisé la cristallisation du quartz, du mica, du feldspath ou du carbonate de chaux, plutôt le long des plans d'accumulation originelle que suivant les autres, qui font des angles de 20 ou 40 degrés avec le sens de la stratification.

M. Darwin a remarqué, en Patagonie, que certaines bandes minces sédimentaires sont devenues porphyritiques, à peine altérées qu'elles étaient primitivement, et cela, par un processus particulier d'agrégation : de petits nids d'argile paraissent s'être condensés de manière à acquérir presque la forme de concrétions, et celles-ci, sur les points où la modification a été la plus avancée, sont devenues des cristaux de feldspath ayant leurs axes parallèles les uns aux autres. Au sein d'autres couches associées aux précédentes,

(1) Mémoire lu devant la Société géologique de Londres, 31 janvier 1853.

des particules siliceuses ont subi de semblables rapprochements pour donner lieu à des nodules de quartz hyalin (1).

On n'a donc pas tort de supposer qu'au travers des roches dépourvues de clivage, les feuillets et plans de stratification coïncideront habituellement, et qu'il en sera de même dans tous les cas où les clivages concorderont avec les joints originels de sédimentation, par exemple dans celui des schistes graphiques à fucoïdes du Niesen, sur le lac de Thoune, en Suisse. M. Darwin admet que « la disposition feuilletée représente le résultat extrême du procédé dont le clivage est le premier effet ; » ou que la force de cristallisation a été très énergique suivant la direction du clivage. Raisonnant d'après cette hypothèse, l'auteur ajoute : « J'ai été vivement frappé, dans les parties orientales de la Terra del Fuego, du fait que les lames minces du schiste argileux, sur les points où elles coupent net les bandes de stratification, et sont ainsi incontestablement de véritables plans de clivage, se différencient légèrement l'une de l'autre par des teintes grisâtres et verdâtres, par leur compacité et l'aspect plus jaspé de certaines d'entre elles. Ce fait montre que la même cause par laquelle s'est produite la structure très fissile a légèrement aussi altéré le caractère minéral de la roche le long des mêmes plans (2). » Comme autre preuve du passage des plans de clivage à ceux de feuillets, le professeur Sedgwick nous apprend que, dans la Galles du Nord, des surfaces de schiste sont quelquefois encroûtées de chlorite « dont les cristaux n'ont pas seulement dessiné les plans de clivage, mais se sont répandus à travers la masse entière de la roche (3). » De même, dit M. Darwin, en quelques localités de l'Amérique méridionale, des cristaux d'épidote et de mica tapissent les plans de clivage.

M. le docteur Sharpe a cru devoir conclure, d'après des

(1) *South America*, p. 149.
(2) *Geol. Observ., on South Amer.*, p. 135.
(3) Sedgwick, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. III, p. 471.

observations faites dans les Highlands d'Écosse, en 1851, que les feuillets du gneiss et du micaschiste sont essentiellement parallèles les uns aux autres, mais n'ont aucun rapport avec les plans primitifs de stratification ; il admet, de plus, que les plans à la fois de clivage et de feuilletage des roches des Grampians et de la région du Mont-Blanc en Suisse (qu'il a examinée en 1854) sont des portions de grandes courbes ou axes anticlinaux d'une remarquable régularité (1). De même, dans l'Amérique du Sud, les plans de clivage du schiste argileux seraient, pour M. Darwin, nonobstant leurs variations et leurs plongements opposés, des arcs de vastes courbes ou plis dont les points culminants auraient été usés et emportés (2).

Il n'y a pas, ce me semble, de difficulté à imaginer que, pour les roches de composition *homogène*, le feuilletage puisse avoir lieu suivant des plans d'abord déterminés par l'expansion de matériaux le long du plongement de clivage ; car des géologues expérimentés ont inutilement cherché à déterminer, en plusieurs contrées, lequel des deux groupes de plans divisionnaires devait se rapporter au clivage et lequel à la stratification. Après un doute prolongé, ils ont fini par s'apercevoir qu'ils avaient, dans le principe, confondu les lignes de clivage avec celles de sédimentation ; en effet, les premières sont de beaucoup plus marquées que les dernières. Or, que de telles masses schisteuses deviennent très cristallines et soient converties en gneiss, schiste amphibolique ou tout autre membre de la classe hypogène, les plans de clivage deviendront beaucoup plus visibles que ceux de stratification. Le professeur Henslow a constaté, dès l'année 1821, que la division laminaire des schistes chloritiques et autres schistes cristallins, à Anglesea, suivait approximativement les plans de stratification ; le professeur Ramsay, en 1841, a fait la même remarque quant au gneiss et au micaschiste

(1) D. Sharpe, *Philos. Trans.*, 1852 ; et *Geol. Quart. Journ.*, n° 41, 1855.
(2) Darwin, *South America*, p. 155.

d'Arran. Le géologue que nous venons de citer en dernier lieu pense qu'à Anglesea le métamorphisme s'est probablement exercé à l'époque où les volcans du Silurien Inférieur étaient en activité, et par conséquent longtemps avant le clivage des roches de Welsh ; en effet, ce clivage affecte à la fois les couches du Silurien Inférieur et du Cambrien. Dans le même Mémoire, l'auteur, après avoir rappelé la théorie de M. Darwin sur la *foliation*, ajoute : « Si les roches ne furent point clivables lorsque le métamorphisme exerça son influence, les plans de foliation devinrent susceptibles de coïncider avec ceux de stratification ; mais s'il se détermina un clivage très prononcé, les plans des feuillets durent se confondre en parallélisme avec ceux de clivage (1). »

D'après ce que j'ai vu moi-même dans les Grampians, comtés de Forfar et de Perth, M. Mac-Culloch a raison de classer le gneiss et le micaschiste parmi les roches stratifiées, et de regarder certains lits de quartz pur, de 30 ou 60 centimètres d'épaisseur, qui se prolongent sur des kilomètres entiers suivant la direction de leurs feuillets, comme indiquant des plans de stratification originelle ; l'intercalation de masses calcaires et de schistes chloritiques, actinolitiques ou amphiboliques au milieu des roches précédentes porte le cachet d'une origine semblable. J'admets complétement aussi que les bandes alternatives de quartz, ou de mica et quartz, de feldspath, ou de mica et feldspath, de carbonate de chaux, etc., sont plus distinctes en certaines roches métamorphiques que les bandes alternatives de beaucoup de dépôts sédimentaires ; on peut supposer que, dans le premier cas, des particules semblables ont exercé une attraction moléculaire les unes sur les autres, et se sont rassemblées en bandes plus distinctes quant à leur composition minérale qu'avant la cristallisation des roches.

Nous avons vu jusqu'à quel point les plans originels de stratification pouvaient être dérangés ou même effacés par

(1) *Geol. Quart. Journ.*, vol. IX, p. 172.

l'action de concrétion à travers les dépôts conservant encore leurs fossiles, par exemple dans le calcaire magnésien (voy. t. I, p. 61). De là, des causes d'erreur lorsqu'on essaie de déterminer si le feuilletage concorde ou ne concorde pas avec cet arrangement que la gravitation combinée avec l'action de courant a imprimé à tout dépôt aqueux. De plus, dans la stratification des roches cristallines, il ne faut pas s'attendre à rencontrer beaucoup de régularité. La présence de masses enclavées, au sein des accumulations de sable grossier et de cailloux roulés, — la division diagonale (voy. t. I, p. 27). — les ondulations, — la stratification discordante (t. I, p. 95), — les plis fantastiques produits par la pression latérale, — les failles de différentes largeurs, — les dykes de trapp, — les corps organisés de diverses formes, — et d'autres inégalités dans les plans de sédimentation, sur une grande ou sur une petite échelle, sont tout autant de causes perturbatrices du parallélisme. Sans formes complexes et énigmatiques de ce genre, le métamorphisme ne serait pas facile à soutenir.

Dans le diagramme ci-dessous, j'ai représenté avec soin

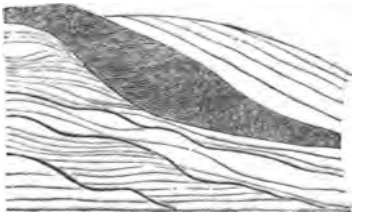


FIG. 709. — Division laminaire du schiste argileux ; montagne de Seguinat, près Gavarnie (Pyrénées).

la division laminaire d'un schiste argileux grossier, que j'ai observée, vers 1830, dans les Pyrénées. Le schiste est en partie à l'état d'ardoise verte et bleue (phyllade), et en partie à l'état extrêmement quartzeux ; l'ensemble passe inférieurement à un micaschiste. La coupe verticale que l'on voit ici mesure environ 90 centimètres de haut, et certaines bandes y sont si minces que l'on peut en compter jusqu'à

cinquante sur l'épaisseur de 25 millimètres. Quelques-unes sont de quartz pur.

On trouvera de la ressemblance entre ces divers cas et la division diagonale que nous avons indiquée aux roches sédimentaires, bien que les bandes de quartz et mica, ou de feldspath et d'autres minéraux, soient plus distinctes dans les feuillets alternatifs qu'elles ne l'étaient primitivement.

M. Élie de Beaumont, qui considère la majeure partie des gneiss et micaschistes des Alpes comme des couches de sédiment altérées par l'action plutonique, admet aussi que certains gneiss de la même chaîne sont des produits d'éruption, ou, en d'autres termes, des sortes de granits sortis des profondeurs de la terre, qui se seraient disposés en lames parallèles à la manière des trachytes dont nous avons parlé (1).

Si l'on suppose qu'une masse ait été comprimée et allongée suivant une direction déterminée, postérieurement au développement des cristaux de mica, de talc ou de divers autres minéraux en petites paillettes, peut-être celles-ci se seront-elles disposées d'elles-mêmes en plans parallèles à ceux du mouvement; un procédé de ce genre rendrait compte de ce que les carriers appellent *le grain* dans certains granits (en Angleterre), c'est-à-dire la tendance de la roche à se fendre dans un sens plutôt que dans un autre. Mais, en thèse générale, le degré de fusion des schistes cristallins ne paraît pas avoir été tel, qu'il ait comporté un mouvement analogue à celui de la lave ou du granit, et c'est pour cela que les roches de leur classe n'envoient point de veines à travers les masses environnantes. Dans le chapitre suivant, je rechercherai les différentes périodes auxquelles on peut assigner les schistes hypogènes et métamorphiques, et j'examinerai pourquoi, pendant si longtemps, les géologues les ont regardées comme méritant le nom de *primitives*.

(1) *Bulletin de la Soc. Géol. de France*, 2e série, vol. IV, p. 1301.

CHAPITRE XXXVII.

SUR LES DIFFÉRENTS AGES DES ROCHES MÉTAMORPHIQUES.

Deux âges pour chaque groupe de couches métamorphiques. — Caractère de l'âge, déduit des fossiles et de la composition minérale ; il n'a pas de valeur. — Caractère de la superposition; il est ambigu. — Conversion de masses épaisses de couches fossilifères en roches métamorphiques. — Calcaire et schiste de Carrare. — Couches métamorphiques plus anciennes que les roches Cambriennes. — D'autres couches de même genre, datant du Silurien Inférieur. — D'autres, des périodes Jurassique et Éocène, dans les Alpes de la Suisse et de la Savoie. — Pourquoi les couches cristallines visibles sont-elles rarement très récentes? — Ordre de succession des roches métamorphiques. — Uniformité du caractère minéral. — Par quelle cause les couches métamorphiques sont-elles moins calcaires que les lits fossilifères?

D'après la théorie que je vais adopter dans ce chapitre, l'âge de chaque groupe de roches volcaniques comprend deux divisions : l'une durant laquelle ces roches se sont déposées, et l'autre où elles sont devenues cristallines. Rarement on peut préciser avec certitude la date de chacune de ces divisions, les fossiles ayant été détruits par l'action plutonique, et le caractère minéral se trouvant identique malgré l'âge. La superposition elle-même est un caractère ambigu, surtout lorsqu'on se propose de déterminer la période de cristallisation. Supposons, par exemple, que les couches métamorphiques des Alpes, recouvertes de lits crétacés, soient positivement du lias altéré ; elles auront acquis leur structure cristalline durant la période crétacée ou pendant l'ère tertiaire. Admettons que ce soit lors du dépôt de l'Éocène; dans ce dernier cas, la roche transformée devra recevoir le nom d'Éocène, en tant que roche métamorphique, tandis que véritablement elle est d'âge liasique, et même la superposition de la craie n'empêchera pas la roche *métamorphique* sous-jacente d'être Eocène.

En traitant de l'âge des roches plutoniques, nous avons cité de nombreux exemples de dépôts primaires, secondaires et tertiaires convertis en couches métamorphiques près de leur contact avec le granit. On ne saurait douter, dans ces cas, que des assises jadis composées de limon, sable et gravier, ou d'argile, marne et calcaire coquillier, aient été, jusqu'à une distance de plusieurs mètres, et, parfois, de centaines de décimètres, transformées en gneiss, micaschiste, schiste amphibolique, chlorito-schiste, quartz-roche, marbre statuaire et autres (voy. les deux chapitres précédents).

Mais, quand l'action métamorphique s'est exercée sur une vaste échelle, elle a détruit radicalement tout vestige pouvant indiquer plus tard la date de son développement. Il est facile d'établir l'identité de deux parties différentes d'une seule couche : l'une où la roche s'est trouvée en contact avec une masse volcanique ou plutonique qui l'a changée soit en marbre, soit en schiste amphibolique, et l'autre, peu distante, où elle n'a point du tout été altérée, et contient encore des fossiles ; mais lorsqu'on doit comparer deux portions d'une chaîne montagneuse, l'une métamorphique et l'autre non modifiée, il faut toute l'instruction et l'habileté d'un bon praticien pour arriver à des résultats satisfaisants ; et encore, quelquefois, les recherches échouent-elles complétement. Je citerai un ou deux exemples d'altération sur une grande échelle, et je m'efforcerai de faire saisir au jeune géologue la chaîne des raisonnements à l'aide desquels on arrive à conclure que d'énormes masses de couches fossilifères ont été converties en roches cristallines.

Nord des Apennins. — Carrare. — Le fameux marbre de Carrare, que l'on emploie en sculpture, était autrefois regardé comme type de calcaire primitif. Il abonde dans les montagnes de Massa Carrara (*Alpes Apuennes*), comme on les a nommées ; les pics les plus élevés de cette chaîne atteignent près de 560 mètres. On concluait à sa très haute antiquité d'après sa texture minérale, l'absence de fossiles au sein de sa masse, et son passage, vers le bas, à des tal-

schistes et micaschistes grenatifères; ces dernières roches montrent elles-mêmes, plus inférieurement, une transition au gneiss, qui se trouve pénétré, à Forno, de veines granitiques. Or, les recherches de MM. Savi, Boué, Pareto, Guidoni, De la Bèche, Hoffmann et Pilla, ont démontré que ce marbre, autrefois considéré comme ayant été produit antérieurement à l'existence des êtres organisés, n'est en réalité qu'un calcaire altéré de la période Oolitique; les schistes cristallins sous-jacents sont aussi des grès et schistes secondaires modifiés par l'action plutonique. Pour arriver à ces conclusions, les auteurs précédents ont constaté d'abord que les roches calcaires des environs du golfe de la Spezia, qui abondent en fossiles oolitiques, acquièrent une texture d'autant plus semblable à celle du marbre de Carrare, qu'elles sont pénétrées plus abondamment de roches trappéennes et plutoniques telles que diorite, euphotide, serpentine et granit.

On observe, sur les points où les formations secondaires ne sont pas altérées, que la plus supérieure des roches est le calcaire commun des Apennins, avec nodules de silex; au-dessous viennent des schistes argileux, et, à la base du tout, des grès argileux et siliceux. Les fossiles abondent dans le calcaire, mais ils sont très rares à travers les schistes et grès sous-jacents. On a donc suivi ces roches, et cherché leur passage latéral aux masses de l'autre série correspondante, qui est complétement métamorphique; celle-ci est couronnée, à son sommet, d'un marbre blanc, grenu, totalement dépourvu de fossiles, et presque exempt de stratification, au sein duquel il n'existe pas de nodules de silex, mais une matière siliceuse disséminée à travers la masse sous forme de prismes de quartz. Au-dessous de ce calcaire, et remplaçant les schistes argileux, existent des talschistes, jaspes et cornéenne; enfin, tout au bas, en place de grès siliceux et argileux, sont des quartzites et gneiss (1). Si toutes

(1) Voyez Notices de Savi, Hoffmann et autres, citées par Boué, *Bull. de la Soc. Géol. de France*, t. V, p. 317, et t. III, p. 44. Voyez aussi Pilla cité par Murchison, *Quart. Geol. Journ.*, vol. V, p. 286.

les couches secondaires des Apennins avaient éprouvé de pareils changements, il serait impossible de déterminer leur âge véritable, et, conformément à la méthode de classification adoptée par les premiers géologues, on les aurait considérées comme roches primaires. Dans ce cas, la date de leur origine eût été reculée à une époque antérieure au dépôt des couches du Silurien Inférieur ou du Cambrien, bien qu'en réalité elles se soient accumulées durant la période oolitique, et aient été métamorphosées à quelque époque subséquente, peut-être très moderne.

Alpes de la Suisse. — Dans les Alpes, en général, on arrive à des conclusions analogues relativement à l'altération des couches ; mais les phénomènes s'y déroulent sur une bien plus vaste échelle. Vers la partie orientale de cette chaîne, on distingue parfaitement quelques-unes des assises primaires fossilifères, puis des formations secondaires anciennes, et enfin des roches oolitiques et crétacées. Certains dépôts tertiaires s'y rencontrent aussi à un niveau moins élevé, et posés contre les flancs des montagnes ; mais, dans les Alpes centrales ou de la Suisse, les formations primaires fossilifères manquent, ainsi que les formations secondaires anciennes ; les couches Crétacées, Oolitiques, Liasiques et même Eocènes, y passent insensiblement à des roches métamorphiques qui consistent en calcaire lamelleux, talschiste, gneiss talqueux, micaschiste et autres variétés. Quant à l'âge de ce vaste ensemble de strates cristallines, on peut seulement avancer que les portions supérieures ont été altérées postérieurement au dépôt des terrains secondaires, quelques-unes même après l'accumulation de l'Éocène ; mais il est impossible de ne pas affirmer que la disparition des roches secondaires anciennes et des couches primaires fossilifères soit due à leur conversion en schistes cristallins.

Difficilement on donnerait aux géologues qui n'ont jamais visité les Alpes une idée juste des différents arguments qui militent en faveur de cette dernière opinion. D'abord, dans certaines localités de ces hautes montagnes, près du granit,

les couches Oolitiques, Crétacées et Éocènes ont été converties en marbre grenu, gneiss et autres schistes métamorphiques. Ce fait démontre d'une manière incontestable que les causes plutoniques ont continué, dans les Alpes, jusqu'à une époque comparativement récente et même postérieure, peut-être, au dépôt de quelques-unes des formations nummulitiques ou moyennes de l'Éocène. Une fois ce point établi, il est fort naturel d'admettre que plusieurs des roches fossilifères inférieures qui, probablement, furent exposées pendant une durée plus considérable à une action semblable, durent se métamorphoser à un degré bien plus intense.

Il existe aussi, en certaines parties des Alpes de la Suisse, des masses énormes de couches secondaires et même tertiaires ayant acquis la disposition semi-cristalline désignée par Werner sous le nom de texture de *transition*; ce genre de texture a conduit naturellement les partisans de la doctrine de l'illustre géologue saxon, qui ont considéré comme très important le caractère minéral, à classer les couches dont il est question parmi les formations de transition, ou groupes plus anciens que les roches secondaires les plus inférieures (voy. t. I, p. 150). Or, il est probable que ces couches ont été affectées, quoique à un degré moindre, par la même action plutonique qui a radicalement altéré et métamorphosé un si grand nombre de formations sous-jacentes ; car, dans les Alpes, l'action du feu n'a nullement été confinée au voisinage immédiat du granit. Cette dernière roche et d'autres, plutoniques, apparaissent rarement à la surface, quelque profonds que soient les ravins creusés dans les flancs des montagnes. On ne saurait douter qu'elles existent au-dessous, à une profondeur peu considérable, et nous avons déjà vu (t. II, p. 392) que, sur certains points comme à Valorsine, près du Mont-Blanc, se montrent un granit et des veines de la même roche, perçant un gneiss talqueux, lequel, à sa partie supérieure, passe insensiblement à des couches secondaires.

C'est sans contredit dans les Alpes de la Suisse et de la

Savoie, plus qu'en aucune autre contrée de l'Europe, que le géologue rencontrera des traces d'un développement considérable de l'action plutonique ; car, dans ces montagneuses régions, se dressent les monuments les plus étonnants de la violence mécanique par laquelle des couches de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur ont été recourbées, plissées et renversées (voy. t. I, p. 93). C'est là que des formations secondaires marines, d'une date relativement récente, Oolitiques et Crétacées, ont été élevées à la hauteur de 3,660 mètres, et quelques couches Éocènes à celle de 3,050 mètres au-dessus du niveau de la mer ; même, des dépôts de l'ère Miocène ont atteint jusqu'à 1,220 et 1,520 mètres ; ils rivalisent aujourd'hui, par leur altitude, avec les sommets les plus fiers et les plus élancés de la Grande-Bretagne.

Si le lecteur veut bien consulter les ouvrages de divers géologues éminents qui ont exploré les Alpes, spécialement ceux de MM. de Beaumont, Studer, Necker, Boué et Murchison, il verra que tous admettent plus ou moins l'opinion que je viens de développer. MM. Studer et Hugi ont, en effet, établi qu'il existe sur une vaste échelle, dans ces monts élevés, de complètes alternances de couches secondaires avec le gneiss et autres roches à structure essentiellement métamorphique. J'ai visité quelques-unes des localités les plus remarquables citées par ces auteurs ; mais, bien que d'accord avec eux sur l'existence de passages de la série fossilifère à la série métamorphique loin du contact du granit ou d'autres masses plutoniques, je me demande si l'on ne pourrait pas expliquer autrement les alternances distinctes d'assises éminemment cristallines avec les couches non altérées dont il a été question ci-dessus. Dans l'une des coupes décrites par M. Studer, coupe qui se rapporte aux régions les plus élevées des Alpes Bernoises, notamment au Roththal, vallée voisine de la ligne des neiges perpétuelles, du côté nord de la Jungfrau, se trouve une masse remarquable de gneiss, de 300 mètres d'épaisseur et de

460 mètres de long, que j'ai eu l'occasion d'examiner moi-même ; non-seulement elle repose sur des couches contenant des fossiles oolitiques, mais encore elle en est parfois recouverte. Ces anomalies s'expliquent en partie par la supposition que d'énormes enclaves solides de gneiss d'intrusion auraient pénétré latéralement entre les strates avec lesquelles j'ai trouvé ce gneiss discordant sur plusieurs points. La superposition de la roche cristalline à l'oolite peut aussi, dans quelques cas, être rapportée à un renversement de la position originelle des lits, à travers une région où les convulsions ont eu lieu avec un développement si surprenant.

Sur le Sattel, aussi, à la base du Gestellihorn, au-dessus d'Enzen, vallée d'Urbach, près de Meyringen, quelques-unes des intercalations du gneiss au sein des couches fossilifères me semblent devoir être assignées à un dérangement mécanique. Presque toute hypothèse de changements réitérés de position est admissible dans une région où la confusion est poussée à un degré extrême. Les couches secondaires peuvent d'abord avoir été verticales, et, dès-lors, certaines portions être devenues métamorphiques (l'influence plutonique arrivant d'en bas), tandis que d'autres seraient restées intactes. La série entière des lits a peut-être, ensuite, de nouveau été rejetée suivant une position presque horizontale, et de là l'hypothèse de formations cristallines recouvrant les roches fossilifères.

Suivant la remarque que j'ai faite dans le chapitre XXXIV, les roches hypogènes, stratifiées ou non stratifiées, ayant cristallisé primitivement à une certaine profondeur au-dessous de la surface du sol, ont toujours dû, avant d'être exhaussées et de se montrer à la surface, compter une longue période comparativement à un grand nombre de roches fossilifères et volcaniques. Elles se sont produites à tous les âges ; mais, pour devenir visible, chacune d'elles a d'abord été élevée au-dessus du niveau de la mer, et quelques-unes des masses enveloppantes ont été emportées par la dénudation.

Au Canada, les assises fossilifères de la formation Cambrienne reposent en stratification discordante sur le gneiss ; or, celui-ci était évidemment cristallin avant le dépôt du grès Cambrien (de Potsdam). Dans l'île d'Anglesea, comme je l'ai dit ailleurs, et suivant M. Ramsay, le métamorphisme des schistes s'est accompli durant la période du Silurien Inférieur. Si l'on rapproche ces conclusions du fait qu'une texture hypogène s'est emparée, à travers les Alpes, des dépôts de l'Éocène Moyen (voy. t. II, p. 441), on ne doutera pas que plus tard les géologues ne réussissent à découvrir des schistes cristallins de presque tous les âges dans la série chronologique, bien que la quantité des roches métamorphiques visibles à la surface doive, pour des raisons que nous avons expliquées ci-dessus, diminuer rapidement parmi les monuments d'époques de plus en plus récentes.

Ordre de succession des roches métamorphiques. — Il n'y a pas d'ordre universel et invariable de superposition pour les roches métamorphiques, mais seulement un arrangement particulier qui peut prévaloir à travers des contrées d'une vaste étendue, et qu'on détermine par des moyens semblables à ceux employés au classement des diverses formations sédimentaires source naturelle des couches cristallines. Par exemple, nous avons vu dans les Apennins, près de Carrare, la série descendante fournir, sur les points où elle est métamorphique, d'abord un marbre saccharoïde, ensuite un talschiste, puis du quartz en roche et du gneiss ; et, vers les endroits où il n'existait pas d'altération, nous avons observé en premier lieu un calcaire fossilifère, en second lieu un schiste argileux, et enfin un grès.

Mais, dans la plupart des chaînes montagneuses, les gneiss, micaschiste, schiste amphibolique, chlorito-schiste, calcaire hypogène et autres roches se succèdent entre elles, et alternent suivant toute espèce d'ordre. On rencontre plus habituellement, il est vrai, certaines variétés de schiste argileux à la partie supérieure de la série métamorphique; toute-

fois ce fait n'implique nullement, comme quelques géologues l'ont pensé, que tout schiste argileux fut formé vers la fin d'une certaine période où le dépôt des couches cristallines aurait été suivi de l'accumulation des strates fossilifères ordinaires. En réalité, les schistes argileux varient par leur composition, et quelquefois alternent avec les assises à fossiles; on peut donc les rapporter presque aussi bien à l'ordre des roches sédimentaires qu'à celui des formations métamorphiques. Il est probable que s'ils avaient été soumis à une action plutonique plus intense, ils auraient passé à l'état de schiste amphibolique, de chlorito-schiste feuilleté, de talschiste pailleté, de micaschiste ou autres roches plus complétement cristallines telles qu'on en voit souvent associées au gneiss.

Uniformité du caractère minéral dans les roches hypogènes. — Il est tout à fait vrai, comme M. de Humboldt a eu l'heureuse occasion de l'observer, que lorsqu'on passe d'un hémisphère à l'autre, on voit apparaître des formes nouvelles d'animaux et de plantes; de plus, on remarque des constellations différentes au firmament; mais, quant aux roches, ce sont les mêmes : elles rappellent toutes d'anciennes connaissances, telles que granit, gneiss, micaschiste, quartz en roche et diverses autres. Il existe, sans aucun doute, une grande et frappante ressemblance entre les principales variétés de roches hypogènes, en tous pays, quelque différentes qu'elles soient d'âge; mais elles doivent être regardées, chacune ainsi que nous l'avons démontré, comme des familles géologiques, et non point comme des combinaisons minérales définies. Leur aspect est beaucoup plus uniforme que celui des couches sédimentaires, car ces dernières sont souvent composées de fragments qui varient beaucoup par la grosseur, la forme et la couleur, elles contiennent des fossiles d'espèces et de composition différentes, et acquièrent des teintes variées par le mélange de diverses qualités de sédiment. Les matériaux de ces couches, si on les faisait fondre et cristalliser, obéiraient à des lois chimiques simples et uniformes dans leur action, les

mêmes aussi dans chaque climat ; elles échapperaient complétement aux causes mécaniques et organiques.

Ce serait une grave erreur de prétendre, avec certains géologues, que les roches hypogènes, considérées comme agrégats de minéraux simples, sont réellement plus homogènes dans leur composition que les divers membres de la série sédimentaire. En premier lieu, les pays différents contiennent des groupes dissemblables de roches hypogènes ; en second lieu, chaque district déterminé peut fournir des roches qui, désignées sous un même nom, sont cependant très variables quant à leurs éléments constituants, ou tout au moins quant aux proportions de ces éléments. Par exemple, le gneiss et le micaschiste, si caractéristiques des Grampians par leur abondance, manquent dans le Cumberland, les Galles et le Cornouailles ; en certaines parties de la Suisse et des Alpes italiennes, le gneiss et le granit sont talqueux, et non micacés comme en Écosse ; le hornblende (amphibole) distingue spécialement le granit d'Écosse, la tourmaline celui du Cornouailles, l'albite est propre aux roches plutoniques des Andes, et le feldspath commun (orthose) à celles d'Europe. En certaines localités d'Écosse, le micaschiste est rempli de grenats ; en d'autres, il est tout à fait dépourvu de ces cristaux ; dans l'Amérique du Sud, suivant M. Darwin, c'est le gneiss, et non le micaschiste, qui se trouve ordinairement grenatifère. Et, non-seulement les proportions de feldspath, quartz, mica, hornblende et autres minéraux varient au sein de roches hypogènes supposées pourtant identiques, mais encore, fait plus capital, la nature même des éléments s'y montre inconstante, comme nous l'avons vu (t. II, p. 223, et tableau, t. I, p. 169).

Pourquoi les couches métamorphiques sont-elles moins calcaires que les strates fossilifères ? — Nous avons constaté que la quantité de matière calcaire, dans les lits métamorphiques, ou même dans les formations hypogènes en général, est beaucoup moindre qu'au travers des dépôts fossilifères. Par exemple, les schistes cristallins des Grampians,

Écosse, qui consistent en gneiss, micaschiste, schiste amphibolique et autres roches développées sur plusieurs mille mètres d'épaisseur, contiennent une proportion infiniment petite de couches calcaires, bien que celles-ci aient été, dans le pays, l'objet d'actives recherches pour un but économique. Néanmoins le calcaire ne manque pas d'une manière absolue dans les Grampians ; il s'y trouve associé, sur certains points, au gneiss, sur d'autres au micaschiste, et, en quelques endroits, à divers membres de la série métamorphique. Mais, lorsqu'il abonde, à Carrare, par exemple, et autres parties des Alpes où il se montre en rapport avec les roches hypogènes, il constitue habituellement l'un des membres supérieurs du groupe cristallin.

La rareté du carbonate de chaux au sein des roches plutoniques et métamorphiques semble généralement être résultée de quelque cause universelle. A l'époque où l'on considérait les roches hypogènes comme antérieures à la création des corps organisés, il était facile d'attribuer l'absence de la chaux à la non-existence des mollusques et zoophytes qui sécrètent les coquilles et les coraux ; mais aujourd'hui que l'on rapporte les formations cristallines à l'action plutonique, il est naturel de s'enquérir si cette action elle-même n'a point dû expulser l'acide carbonique et la chaux des matériaux qu'elle a réduits à l'état de fusion ou de demi-fusion. On ne peut descendre, il est vrai, jusqu'aux régions souterraines où se développe la chaleur volcanique, mais on observe dans les pays à volcans éteints, par exemple en Auvergne et en Toscane, des centaines de sources froides ou thermales sourdant du granit ou d'autres roches, et fortement chargées de carbonate de chaux. La quantité de matière calcaire que ces sources apportent, à la longue, des plus basses profondeurs de l'écorce terrestre aux divisions les plus supérieures ou les plus nouvellement formées, cette quantité, disons-nous, doit être considérable (1).

(1) *Principes de Géologie*, Index : SOURCES CALCAIRES.

Si la proportion d'éléments siliceux et alumineux fournis par les sources précédentes était aussi forte que celle des principes calcaires, au lieu de se montrer comparativement insignifiante, on pourrait contester à la matière minérale ainsi rejetée une origine liée à la décomposition de roches souterraines ordinaires ; mais, d'après la prédominance très prononcée du carbonate de chaux sur tout autre élément, la croûte terrestre doit, avec le temps, perdre la presque totalité des composants calcaires de ses parties inférieures ; au contraire, elle continue sans doute à fournir journellement, à de nouveaux dépôts sur le fond des mers et des lacs, un excès de carbonate de chaux. Ce composé arrive à la surface du sol par des milliers de sources et de rivières, et ainsi, toute nouvelle roche calcaire précipitée chimiquement, de même qu'un grand nombre des récifs coquilliers ou coralliens qui se forment de nos jours, dérivent en partie de la substance minérale produite par l'action plutonique, et chassée par le gaz ou la vapeur hors des roches fondues qui bouillonnent dans les entrailles de la terre.

Non-seulement du carbonate de chaux, mais encore du gaz acide carbonique libre s'échappent abondamment du sol et des crevasses souterraines, dans les régions à volcans actifs ou éteints, par exemple aux environs de Naples et en Auvergne. D'un autre côté, les coquilles ou les coraux fossiles ont souvent perdu leur acide carbonique, et la chaux qui restait est entrée peut-être dans la composition de l'augite, du hornblende, du grenat et d'autres minéraux hypogènes. On observe des exemples très fréquents de matière calcaire ainsi dégagée : les débris organiques sont souvent remplacés par de la silice ou d'autres substances minérales ; quelquefois aussi l'espace occupé jadis par le fossile est devenu vide, ou ne se trouve plus représenté que par une obscure empreinte. Il ne faut donc pas s'étonner de l'absence générale de ces débris au sein des couches cristallines : rappelons-nous l'altération fréquente, totale ou partielle, des fossiles, même dans les formations tertiaires ; — de vastes

masses de grès ou de schiste, de différents âges et de milliers de mètres de puissance, dépourvues de corps organisés, — certaines couches privées d'une partie de leurs pétrifications, qu'elles ont peut-être perdues en devenant cristallines, ou, suivant l'expression de Werner, en passant à l'état de roches de *transition*, — enfin la destruction des dernières traces d'êtres animés au sein des strates franchement *métamorphiques*. Les formations qui portent cette dernière épithète ont de plus, quelquefois, été soumises à des renouvellements itératifs de l'action plutonique.

CHAPITRE XXXVIII.

VEINES MINÉRALES.

Opinion de Werner, d'après laquelle les veines minérales seraient des fissures remplies d'en bas. — Veines de ségrégation. — Veines métallifères ordinaires, ou filons. — Leur coïncidence fréquente avec des failles. — Preuves qu'elles ont pris naissance par des fissures traversant des roches solides. — Veines croisant d'autres veines. — Leurs parois polies, ou *slicken-sides*. — Coquilles et galets au sein des filons. — Preuves d'élargissements successifs et de réouvertures des veines. — Observations de Fournet, en Auvergne. — Dimensions des veines. — Pourquoi le renflement et le rétrécissement alternatifs de certaines d'entre elles ? — Remplissage des filons par sublimation venant d'en bas. — Action chimique et électrique. — Age relatif des métaux précieux. — Filons de cuivre et de plomb en Irlande, plus anciens que l'étain du Cornouailles. — Filon de plomb dans le Lias, en Glamorgan. — Or en Russie, Californie et Australie. — Connexion entre les sources chaudes et les veines minérales. — Conclusion.

Le mode de distribution des substances métalliques au travers de la croûte terrestre, et, plus spécialement, le phénomène de ces masses presque verticales et tabulaires de minerai, appelées veines minérales, qui fournissent la majeure partie des métaux utiles à l'homme, ce sont là des sujets d'une très haute importance pratique et d'un intérêt capital au point de vue de la théorie.

Les idées que l'on avait adoptées d'abord sur les veines métallifères ont subi des modifications, ou plutôt ont éprouvé une révolution presque complète à partir du milieu du siècle dernier, époque où Werner, directeur de l'École des Mines de Freyberg en Saxe, le premier essaya de généraliser les faits jusqu'alors connus. Ce savant enseigna que les veines minérales ont été des fissures originellement béantes, plus tard graduellement envahies par des matières cristallines et métalliques ; que grand nombre d'entre elles, après avoir été une première fois remplies, se sont ensuite de nouveau élar-

gies et ouvertes. Il fit ressortir aussi cette circonstance particulière, que les veines ne se rapportent pas toutes à une seule et même période, mais sont d'âges géologiques différents.

Ces opinions, dont il existait déjà quelques germes dans des ouvrages plus anciens, n'avaient cependant pas encore été généralement adoptées ; du moment qu'elles furent émises par une autorité aussi puissante et d'une expérience si consommée, elles firent époque en géologie. Néanmoins j'ai démontré, en traçant avec détail dans un autre livre l'histoire et les progrès de la géologie, que Werner avait été depuis longtemps devancé par d'autres géologues, pour sa théorie des roches volcaniques, et qu'il fut de beaucoup en retard sur son contemporain Hutton quant aux spéculations sur l'origine du granit (1). Suivant Werner, les formations plutoniques, ainsi que les schistes cristallins, auraient été des substances précipitées d'un fluide chaotique, à l'époque de certaines conditions premières ou naissantes de la planète ; les métaux, par suite, étant étroitement liés avec les formations précédentes, auraient partagé cette origine mystérieuse. D'après le même auteur, les roches trappéennes seraient résultées de dépôts aqueux, et les dykes de porphyre, de greenstone et de basalte indiqueraient des fentes ayant reçu d'en haut leurs matériaux divers. Conséquent à ces premiers principes, Werner admet que les veines minérales ont tiré leurs éléments constituants d'un océan sus-jacent, plutôt que d'une source souterraine ; que ces éléments ont été d'abord dissous dans des eaux existant au-dessus, au lieu de s'élever, par la sublimation, de lacs ou de mers situées au-dessous.

Mais l'hypothèse d'un fluide primordial ou *menstrue chaotique* commença à perdre faveur en présence des conceptions nouvelles, et les géologues ne tardèrent pas à partager un même avis sur les véritables rapports existants entre les roches volcaniques et trappéennes ; on comprit enfin que

(1) *Principes de Géologie*, chap. IV.

les phénomènes des veines minérales pouvaient s'expliquer par des causes connues, celles par exemple de l'action chimique, thermale ou électrique qui s'exerce encore de nos jours dans l'intérieur de la terre. Le lecteur saisira mieux les arguments favorables à cette conclusion lorsque nous aurons décrit et commenté les faits mis à découvert par les travaux de mines.

Sur les différentes sortes de veines minérales. — Les géologues connaissent tous parfaitement ces veines de quartz qui, abondantes au sein des couches hypogènes, y forment des masses lenticulaires d'une étendue limitée. Ces veines traversent aussi quelquefois les grès et schistes. On observe des bandes semblables, composées de carbonate de chaux, au sein de roches fossilifères, surtout calcaires. Elles paraissent avoir été jadis des fentes, ou cavités étroites, produites comme les crevasses dans l'argile, par le retrait de la masse passant de l'état fluide à l'état solide, ou simplement baissant de température. La silice, le calcaire et parfois les métaux ont pénétré ensemble ou isolément le long de ces espaces vides, après s'être échappés de roches environnantes par exfiltration, ou, comme on dit, par ségrégation. Mêlés à l'eau ou à la vapeur, les minerais métalliques ont dû passer d'abord au travers d'une gangue pâteuse, avant d'arriver jusqu'à ces réceptacles formés par le retrait, et donner naissance à ces assemblages irréguliers de veines auxquels les Allemands donnent le nom de *Stockwerks*, par allusion aux différents étages suivant lesquels, alors, on dirige les travaux de mine.

Les veines les plus ordinaires, ou régulières, s'exploitent habituellement sur bandes verticales; évidemment elles furent jadis des fissures produites par action mécanique. On les voit traverser toutes sortes de roches, hypogènes et fossilifères, et elles se prolongent, inférieurement, à des profondeurs indéfinies ou inconnues. On peut présumer qu'elles sont d'origine semblable à celle des fentes produites de temps à autre par les secousses de tremblements de terre. Les veines métallifères que l'on peut rapporter au même genre

d'action, ont parfois quelques millimètres de large, mais plus communément 0m,90 ou 1m,20 du même diamètre. Elles poursuivent leur marche d'une manière continue, suivant une certaine direction qui prévaut sur plusieurs kilomètres ou même sur des lieues de longueur, passant à travers des roches variables par leur composition minérale.

Les veines métallifères ont été des fissures. — Des mineurs fort intelligents n'ont pu parvenir, même après une étude attentive des veines métallifères, à faire cadrer plusieurs des caractères de celles-ci avec l'hypothèse des fissures ; je commencerai donc par établir les arguments qui militent en faveur de cette hypothèse. L'un des plus convaincants peut-être est la coïncidence d'un nombre considérable de veines minérales avec les *failles*, c'est-à-dire avec ces dislocations de roches qui sont incontestablement dues à la force mécanique, comme nous l'avons démontré ci-dessus (t. I, p. 98). Il existe, à travers presque tout district minier, des preuves d'une succession de failles par lesquelles les parois opposées de fentes aujourd'hui remplies de substances métalliques ont

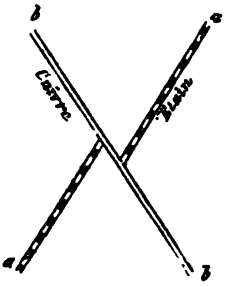


FIG. 710.

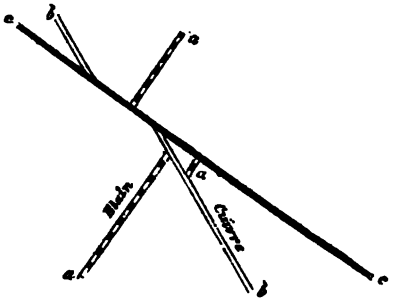


FIG. 711.

subi des déplacements. Par exemple, supposons que *aa* (fig. 710) indiquent un filon d'étain du Cornouailles (on donne le nom de filon, en anglais *lode*, aux veines qui contiennent des minerais métalliques). Ce filon, qui court Est et Ouest, est large de 0m,90 environ, et se trouve coupé par un autre filon de cuivre, *bb*, de la même épaisseur.

La première fente *aa* a été remplie par divers matériaux en partie d'origine chimique, tels que quartz, spath fluor, peroxyde d'étain, sulfure de cuivre, pyrite arsenicale, bismuth et sulfure de nickel, et en partie d'origine mécanique,

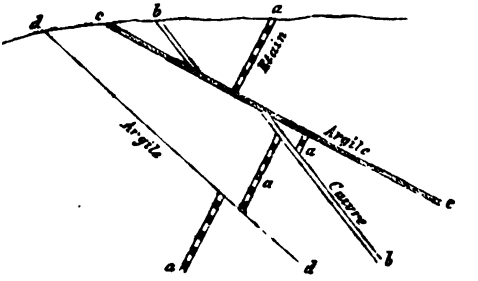


FIG. 712.

Coupes verticales de la mine de Huel Peever, Redruth, Cornouailles.

comme argile et frâgments angulaires ou débris des roches coupées. Le quartz et le minerai sont, en quelques places, parallèles aux parois verticales du filon, et séparés l'un de l'autre par des bandes alternantes d'argile, ou plutôt de matière terreuse. Parfois le minerai est disséminé en petites masses le long de la gangue du filon.

Il est clair qu'après l'introduction graduelle de l'étain et des autres substances, la seconde fente *bb* s'est ouverte par une deuxième fracture accompagnée d'un déplacement des roches le long du plan *bb*. Cette nouvelle solution de continuité s'est remplie de minéraux dont quelques-uns ressemblent à ceux de *aa*, par exemple de spath fluor (fluorure de calcium) et de quartz; d'autres sont différents : le cuivre devient abondant, l'étain au contraire diminue, ou même ne s'y trouve plus qu'extrêmement rare.

Qu'une secousse de tremblement de terre vienne maintenant agiter ce gisement, brisant et poussant pêle-mêle tous les débris le long de la ligne *cc* (fig. 711) : la fente, ne présentant que $0^m,15$ de large, se remplira seulement d'argile dérivée probablement de la friction des parois, ou résultant peut-être aussi d'une infiltration venue d'en

haut. Ce nouveau mouvement soulèvera la roche de manière à interrompre la continuité du filon de cuivre *bb*, et, en même temps, à faire glisser latéralement, suivant la même direction, une portion du filon d'étain qui n'avait point été d'abord brisée.

On voit, par la figure 712, qu'une quatrième fente *dd*, également remplie d'argile, a traversé la veine mince d'étain *aa*, et l'a haussée légèrement vers le Sud. Les divers changements que représentent ces trois figures ne sont point purement imaginaires, ils existent de fait dans une coupe fournie par des travaux depuis longtemps abandonnés d'une ancienne mine du Cornouailles, appelée Huel Peever, paroisse de Redruth ; cette coupe a été décrite par M. Williams et M. Carne (1). Le mouvement principal dont il est ici question, ou celui de *cc* (fig. 712), s'étend sur une longueur qui n'a pas moins de 24 mètres ; mais, pour ce cas comme pour les trois autres, les traits géographiques de la contrée située au-dessus, *d*, *c*, *b*, *a*, etc., n'ont été affectés par aucune des dislocations, ainsi que le démontre la puissante dénudation qui a raviné le sol postérieurement aux failles (voy. ci-dessus, t. I, p. 110). On admet vulgairement dans le Cornouailles qu'il existe en cette contrée huit systèmes distincts de filons, appartenant à autant de mouvements ou fractures successives ; et les mineurs des montagnes du Hartz parlent aussi de huit systèmes de filons correspondant à autant de périodes différentes.

Outre les preuves qu'elles fournissent de l'action mécanique, ainsi que nous l'avons déjà établi, les parois opposées des filons sont souvent polies et comme vernies ; fréquemment aussi on les voit striées et traversées de sillons et de saillies parallèles telles qu'en produirait un frottement continu sur des surfaces d'inégale dureté. De telles faces polies ressemblent au plan d'une roche sur laquelle un glacier au-

(1) *Geol. Trans.*, vol. IV, p. 139. — *Trans. Roy. Geol. Society, Cornwall*, vol. II, p. 90.

rait progressé (voy. fig. 109, t. II, p. 206) ; elles sont communes même dans les cas où il n'y a pas eu de glissement, et on les rencontre également dans les fentes non métallifères. Les mineurs anglais les appellent *slicken-sides*, d'après les mots allemands *Schlichten*, qui veut dire plan, et *Seite*, côté. On admet que les lignes de stries indiquent la direction suivant laquelle s'est opéré le mouvement de la roche. Par l'effet d'un faible tremblement de terre survenu au Chili vers l'année 1840, et qui m'a été décrit par un témoin oculaire, les murs de brique d'un édifice se fendirent verticalement en plusieurs endroits, et éprouvèrent un mouvement vibratoire pendant plusieurs minutes pour chaque secousse; après la cessation du tremblement, les murs ne montrèrent aucune trace d'altération, ou du moins aucune ouverture, bien que chaque ligne de crevasse restât encore visible. Lorsque le mouvement se fut apaisé, on remarqua sur le plancher de l'habitation, au bas de chaque fente, de petits amas de fine poussière de brique qui, évidemment, avait été produite par la trituration.

Dans certaines veines plombifères du calcaire de montagne du Derbyshire, la gangue, qui est presque compacte, se trouve parfois traversée par ce qu'on appelle une fêlure (*crack*) verticale passant au-dessous du milieu de la veine. Les deux faces en contact sont des slicken-sides parfaitement polis et cannelés, quelquefois recouverts d'une mince enveloppe de minerai de plomb. Si l'on enlève un côté de la gangue, l'autre côté se fend, surtout quand on a pris soin de pratiquer de petits trous, et dès lors des fragments se détachent avec fracas, continuant à tomber ainsi pendant des jours entiers. Le mineur est familiarisé avec ces sortes de circonstances, et il en tire profit : il creuse, à l'aide de sa pique, de petits trous à distance de $0^m,15$ chacun, profonds de $0^m,12$, et, à son retour après quelques heures, il trouve le tout près de tomber, même au simple toucher (1).

(1) Conyb. and Phil., *Geol.*, p. 401 ; et Farey, *Derbyshire*, p. 248.

Ces phénomènes et leurs causes (qui se lient probablement à l'action électrique) ne me paraissent pas avoir attiré toute l'attention qu'ils méritent.

La communication primitive d'un grand nombre de filons avec la surface d'une contrée ou d'un ancien lit de mer est constatée par l'existence, au sein de ces filons, de cailloux parfaitement arrondis ressemblant à ceux des alluviums superficiels; on observe des exemples de ce genre en Auvergne et en Saxe. La Bohême a fourni également des cailloux semblables, à la profondeur de 330 mètres. Dans le Cornouailles, M. Carne cite de vrais galets de quartz et de schiste au milieu d'un filon d'étain de la mine Relistran, à plus de 180 mètres au-dessous du sol; ils sont cimentés par de l'oxyde d'étain et du bisulfure de cuivre, et occupent une surface de plus de 3 mètres de long sur autant de large (1). On y a découvert aussi des coquilles marines fossiles, à de grandes profondeurs; leur enfouissement date sans doute d'anciens tremblements sous-marins. M. Virlet affirme qu'on a trouvé une gryphée dans une mine de plomb des environs de Semur, en France; un madrépore a été signalé au milieu d'un filon compacte de cinabre en Hongrie (2).

Lorsque différents groupes ou systèmes de veines parcourent un pays déterminé, ceux que l'on suppose de même âge, et qui sont remplis de matériaux identiques, conservent souvent un parallélisme général de direction. Par exemple, les filons d'étain et de cuivre, dans le Cornouailles, courent à peu près Est et Ouest, tandis que ceux de plomb sont alignés Nord et Sud; mais aucune loi générale de direction n'est applicable à des districts miniers différents. Le parallélisme est un autre motif pour faire regarder les filons comme des fentes ordinaires; en effet, les dykes trappéens, qui, pour tous les géologues, rappellent d'anciennes masses fondues ayant rempli des fentes, sont souvent parallèles

(1) Carne, *Trans. of Geol. Soc. Cornwall*, vol. III, p. 238.

(2) Fournet, *Études sur les dépôts métallifères.*

lorsqu'ils partagent le même âge. Or, une fois admis que les filons sont simplement des fissures primitives dans lesquelles des dépôts chimiques et mécaniques auraient ensuite pénétré, on acquiert bientôt la preuve de leur remplissage graduel, et, souvent, de leur élargissement successif. J'ai déjà parlé de bandes parallèles d'argile, de quartz et de minerai au sein des filons. Werner lui-même a remarqué dans un filon particulier, près de Gersdorf en Saxe, treize lits de minéraux différents disposés avec la plus grande régularité de chaque côté de la bande centrale. Celle-ci se compose de deux couches de spath calcaire qui, évidemment, est venu tapisser les parois opposées d'une cavité verticale. Les treize lits se suivent d'un côté et de l'autre dans un ordre correspondant ; ils consistent en spath fluor, célestine (strontiane sulfatée), galène, etc. Ici, évidemment, c'est la masse centrale qui s'est formée en dernier lieu, et les deux bandes, contre les parois extrêmes de la fente, de chaque côté, sont les plus anciennes de toutes. Si les bandes se composaient de précipités cristallins, on pourrait expliquer leur formation en supposant que la fente a conservé ses dimensions pendant toute la série des changements de nature des dissolutions arrivant d'en bas ; mais un tel mode de dépôt, pour plusieurs cas de bandes successives et parallèles, paraît être exceptionnel.

Lorsqu'une veine pierreuse est formée de matière cristallisée, les pointes des cristaux sont toujours tournées vers le centre de la cavité, en d'autres termes, ces pointes se dirigent du côté où s'est offert le plus d'espace pour le développement des formes régulières. Par conséquent, chaque nouvelle bande a reçu l'empreinte des cristaux de la bande précédente, et imprimé ses traits sur celle qui suit, jusqu'à ce qu'à la fin toute la veine ait été remplie ; deux bandes qui se rencontrent se pénètrent en queue d'hirondelle au moyen de leurs cristaux respectifs. Mais, dans le Cornouailles, au sein de certains filons, les bandes verticales (*combs*, en Anglais) ont leurs cristaux tellement enchevêtrés sous la forme ci-dessus désignée, qu'ils fournissent la preuve évidente d'un élargis-

sement réitéré de la fente. Sir H. de la Bêche cite le curieux et instructif exemple suivant (fig. 713), observé dans une carrière de granit près de Redruth (1). Chacune des bandes ou combs (*a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*) est double; les pointes des cristaux

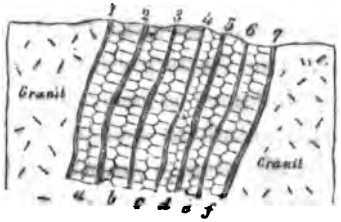


Fig. 713. — Filon de cuivre qui s'est élargi à six époques successives, près Redruth.

sont tournées vers leur côté interne, le long de l'axe de la veine. Les parois (2, 3, 4, 5 et 6) sont séparées par une mince enveloppe d'argile ocreuse; il est facile ainsi de détacher chaque bande par un léger coup de marteau. L'épaisseur de chacune d'elles représente la largeur totale de la fente à six époques successives ; les parois les plus éloignées de la veine, lorsque la première fissure, très étroite, se forma, furent les granits 1 et 7.

Une explication à peu près analogue rend compte d'un grand nombre d'autres cas où de l'argile, du sable et des débris angulaires alternent avec des minerais et des veines pierreuses. Supposons, par exemple, que les parois d'une fente soient incrustées de matière siliceuse (de Buch en a signalé de semblables à Lancerote, dans un cratère volcanique datant de 1731 ; elles étaient traversées par une crevasse béante où les vapeurs chaudes avaient déposé de l'hydrate de silice, et l'incrustation s'étendait presque jusqu'au milieu) (2); admettons ensuite qu'une fente de ce genre vienne à se combler d'argile ou de sable, et de nouveau à s'ouvrir, de telle manière que la fissure nouvelle divise le dépôt argileux, et permette l'introduction d'une quantité

(1) *Geol. Report on Cornwall*, p. 340.

(2) *Principes*, chap. XXVII, 8e édit., p. 422.

de débris ; divers métaux et minéraux de la classe des substances terreuses et alcalines, se précipitant de solutions aqueuses, pourront très bien s'introduire dans les interstices de cette masse hétérogène.

On a la preuve de la succession réitérée de tels changements, dans la présence accidentelle de filons croiseurs ; ceux-ci impliquent une fracture dirigée obliquement en travers de dépôts chimiques ou mécaniques antérieurement formés. M. Fournet, étudiant quelques mines d'Auvergne exploitées sous sa direction, a constaté les faits suivants : le granit de ce pays fut d'abord pénétré de veines de la même roche, et ensuite disloqué ; des crevasses alors se produisirent, croisant à la fois le granit et les veines granitiques. A l'intérieur des solutions de continuité s'introduisit du quartz accompagné de sulfure de fer et de pyrite arsenicale. Une autre convulsion ouvrit violemment les roches le long de l'ancienne ligne de fracture, et le premier groupe de dépôts céda sur plusieurs points, se fendit, ou même vola en éclats ; la nouvelle crevasse se combla non-seulement de fragments angulaires des roches adjacentes, mais encore de portions des veines pierreuses plus anciennes. Des surfaces polies et striées, sur les côtés ou dans le contenu même de la veine, attestent aussi ces anciens mouvements. Une nouvelle période de repos succéda, pendant laquelle divers sulfures pénétrèrent au sein de la veine, et du silex corné empâta les fragments angulaires du quartz plus ancien, pour former une brèche. Cette période fut suivie d'autres dilatations des mêmes veines, et de l'introduction de nouveaux groupes de minéraux, jusqu'à ce que, définitivement, des cailloux arrondis de lave basaltique d'Auvergne, provenant des alluviums superficiels probablement d'âge Miocène ou Pliocène Ancien, se précipitèrent dans les profondeurs des veines. L'espace ne me permet pas d'énumérer tous les changements décrits minutieusement par M. Fournet, mais ils sont importants à la fois pour le mineur et le géologue, en ce qu'ils montrent comment les signes supposés de catastrophes vio-

lentes peuvent servir de monuments non pas d'une seule secousse paroxysmale, mais de mouvements successifs.

Ces élargissements et réouvertures itératives des veines s'expliquent parfaitement par l'hypothèse des fissures, surtout si l'on songe au très petit nombre d'entre elles qui ont été jusqu'ici explorées à fond, ainsi qu'à la résistance plus faible qu'oppose, le long des anciennes lignes de fracture, une contrée où les fentes ne sont que partiellement remplies. C'est, du reste, tout à fait le même cas pour les dykes où chaque ouverture a reçu une masse continue et homogène de matière fondue dont la consolidation s'est opérée sous une pression considérable. Les dykes trappéens renforcent généralement les roches sur les points qui furent jadis plus faibles, et, si la force d'élévation vient à s'exercer de nouveau suivant la même direction, la croûte de la terre cède partout ailleurs qu'aux endroits précis où les premières solutions de continuité se sont produites.

Grand nombre de filons ont leurs parois opposées presque parallèles, et le phénomène se montre sur une vaste étendue de pays. On admire un magnifique cas de ce genre, au Hartz, dans le célèbre gisement d'Andréasberg, exploité sur une profondeur verticale de 460 mètres et une longueur horizontale de 182 mètres, avec une épaisseur presque constante de 1 mètre environ. Mais plusieurs filons, dans le Cornouailles et ailleurs, ont des dimensions très variables, 0m,025 à 0m,050 d'épaisseur sur un point, 2 ou 3 mètres sur un autre, pour une longueur de plusieurs mètres, et de nouveau ils se rétrécissent comme auparavant. Ces sortes de dilatations et contractions alternatives sont tellement caractéristiques, que je dois insister ici sur leur description. Les parois des fissures, observe Sir H. de la Bêche, sont rarement des plans parfaits sur toute leur étendue; et, en réalité elles ne sauraient l'être, puisque d'habitude elles traversent des roches d'inégale dureté et de composition minérale variable; si, par conséquent, les parois opposées de fissures aussi irrégulières viennent à glisser l'une sur l'autre, c'est-

à-dire s'il survient une faille (et c'est le cas pour plusieurs filons), le parallélisme des parois opposées se trouve tout d'un coup totalement détruit, comme on le voit par les diagrammes qui suivent.

FIG. 714.

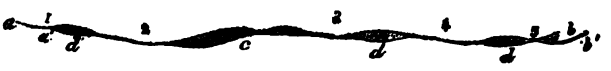


FIG. 715.

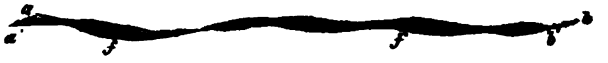


FIG. 716.

Soit *ab* (fig. 714) une ligne de fracture traversant une roche, et *ab* (fig. 715) la même ligne. Supposons des bandes de papier représentant ces lignes, et tirons de côté, dans la figure 715, la bande *a'b'* sur *ab*, de *a* en *a'*, en ayant soin que les deux se touchent aux points 1, 2, 3, 4, 5 : il se produira une ouverture irrégulière en *c*, et d'autres, séparées, *d d d*; dès lors, en comparant les figures avec la nature, on trouvera, à certaines différences près, qu'elles représentent l'intérieur de failles et de veines minérales. Si, au lieu de faire glisser la bande supérieure vers la droite, on tire la bande inférieure vers la gauche, sur une distance à peu près égale à celle parcourue précédemment *aa'*, on obtiendra des différences considérables dans les cavités produites : il se formera deux longs espaces irréguliers *ff* (fig. 716). Ceci sert encore à montrer à quelles légères circonstances sont quelquefois dues les variations les plus considérables dans le caractère des ouvertures produites entre des surfaces inégalement fracturées, ces surfaces étant mues l'une sur l'autre de manière à posséder de nombreux points de contact.

Divers filons sont perpendiculaires, ou à peu près, à l'horizon ; mais quelques-uns inclinent fortement sous des angles

de 15 à 45 degrés. Le cours d'un filon est ordinairement très droit, mais il est aussi parfois tortueux, et, dans ce cas, on observe qu'aux divers endroits où il dévie le plus de la verticale, il est obstrué d'argile, de blocs de pierre et de cailloux. En certains points, *a* par exemple (fig. 717), le mineur se plaint de l'absence des matières métalliques, ou de leur grande diminution : c'est qu'alors, au libre dépôt du minerai s'est opposée l'occupation préalable du filon par des matériaux terreux. Les filons épais de plusieurs mètres sont ordinairement remplis, en majeure partie, de matières terreuses et de fragments de roches, au travers desquels les minerais sont très disséminés. Les substances métalliques enveloppent fréquemment ou entourent circulairement des morceaux détachés de roche que les mineurs anglais appellent *horses* (chevaux) ou *riders* (cavaliers). Il est naturel aussi que certaines veines minérales se ramifient, car le même phénomène appartient aux fissures béantes.

FIG. 717.

Dépôts chimiques dans les veines. — Si nous passons maintenant des actions mécaniques aux forces chimiques qui ont concouru à produire les veines minérales, nous remarquerons le fait suivant : les espaces des fentes, que n'ont point engorgés divers débris de roches fracturées, ont toujours été remplis par l'eau ; et toute veine a probablement servi de canal par lequel les sources chaudes, si communes dans les pays volcaniques ou sujets aux tremblements de terre, se sont dirigées vers la surface du sol. Nous savons que les fentes au sein desquelles les minerais abondent se prolongent en bas à des profondeurs considérables où la température est plus élevée. Nous n'ignorons pas, non plus, que les veines minérales sont plus métallifères près du contact des formations plutoniques et stratifiées, et qu'elles le sont spécialement sur les points de croisement, c'est-à-dire sur ceux où les premières de ces formations envoient des veines à travers les dernières ; cette circonstance indique que les veines

furent originellement très rapprochées, par leur extrémité inférieure, des roches ignées et chaudes. Ensuite, il est parfaitement avéré que même les sources minérales et thermales qui, dans l'état actuel du globe, sont éloignées des volcans, sourdent néanmoins le long de grandes lignes d'élévation et de dislocation des roches (1). De plus, les géologues ont constaté que toutes les substances dont les sources chaudes sont imprégnées appartiennent au même groupe que celles vomies, sous forme gazeuse, par les volcans. Plusieurs de ces substances se rencontrent en veines : nous citerons la silice, le carbonate de chaux, le soufre, le spath fluor, le sulfate de baryte, la magnésie, l'oxyde de fer et autres. J'ajouterai que si les veines ont été remplies par des émanations gazeuses provenant de masses fondues en voie de refroidissement lent, au sein des régions souterraines, la contraction de telles masses, dans leur passage de l'état plastique à l'état solide, a dû, suivant les expériences de M. Deville sur le granit (roche que l'on peut choisir pour type), produire une réduction de volume s'élevant jusqu'à 10 pour 100. Par conséquent, la cristallisation lente de ces sortes de roches plutoniques fournit une force capable non-seulement de déterminer, par défaut de support, des ouvertures au travers des roches incombantes, mais aussi de produire des failles sur tout point où une portion de la croûte terrestre s'abaissera lentement, tandis qu'une autre contiguë, reposant sur une base différente, restera immobile.

On serait peut-être, d'après le raisonnement qui précède, porté à conclure qu'une liaison intime a souvent existé entre les filons et les sources thermales tenant de la matière minérale en dissolution ; cependant, il ne faut pas s'attendre à ce que les contenus de ces derniers véhicules et des premiers soient identiques. Au contraire, M. Élie de Beaumont a judicieusement observé qu'il faut chercher plus spécialement, dans les veines, des substances qui, étant moins solubles, ne

(1) D' Daubeny, *Volcanos*.

sauraient être fournies par les eaux thermales, c'est-à-dire des corps simples ou composés que les eaux chaudes arrivant d'en bas précipitent contre les parois d'une fente, dès que leur température commence à diminuer. Des eaux de cette nature se refroidissent d'autant plus qu'elles approchent davantage de la surface, jusqu'à ce qu'enfin elles acquièrent la température moyenne des sources; alors elles sont spécialement chargées des substances les plus solubles, telles que les alcalis, soude et potasse. Ceux-ci n'accompagnent pas les veines, bien qu'ils entrent si abondamment dans la composition des granits (1).

On peut donc, jusqu'à un certain point, rapporter l'arrangement et la distribution de la matière métallique, dans les veines, à l'action chimique ordinaire, ou bien à ces variations de température que peuvent éprouver les eaux tenant des minerais en dissolution, à mesure qu'elles montent de grandes profondeurs de la terre. Mais il existe d'autres phénomènes n'admettant pas la même explication : par exemple, au Derbyshire, certains filons contenant du minerai de plomb, de zinc et de cuivre, mais principalement de plomb, traversent des lits alternants de calcaire et de greenstone. Le minerai se montre abondant lorsque les parois de la fente sont formées de calcaire, mais il se réduit à un simple filet, quand ces parois sont des greenstones (ou *toad stones*, comme on les appelle vulgairement dans le pays). Ce n'est pas que la fente primitive soit plus étroite sur les points occupés par le greenstone, mais la matière pierreuse y remplit un plus large espace, et les eaux ne s'y sont point déchargées aussi librement de leurs contenus métalliques.

« Les filons, dans le Cornouailles, dit M. Robert W. Fox, dépendent essentiellement, quant à leur richesse métallique, de la nature de la roche qu'ils traversent, et souvent, sous ce rapport, ils changent brusquement en passant d'une roche à l'autre; ceux, par exemple, très chargés de minerai dans

(1) *Bulletin de la Soc. Géol. de France*, t. IV, p. 1278.

le granit, deviendront improductifs dans le schiste argileux ou killas, et *vice versâ*. La même observation s'applique au killas et au porphyre granitique appelé *elvan*. Parfois, le long de la même veine continue, le granit contiendra du cuivre, et le killas, de l'étain, ou bien ce sera l'inverse (1). »

M. Fox, après avoir constaté l'existence actuelle de courants électriques à travers quelques-unes des veines métallifères du Cornouailles, a pensé qu'une même cause avait probablement agi sur les sulfures et les chlorures de cuivre, d'étain, de fer et de zinc dissous dans l'eau chaude des fissures, et avait déterminé leur mode particulier de distribution. Après de nombreuses expériences à ce sujet, M. W. Fox a cherché de même à s'expliquer la prédominance marquée de la direction Est et Ouest des principaux filons du Cornouailles, par leur position perpendiculaire au magnétisme terrestre. Mais M. Henwood et d'autres mineurs expérimentés ont opposé de fortes objections à cette théorie ; et il faut avouer que la direction des veines, pour les principaux districts miniers, varie à un tel degré, qu'elle semble dépendre de lignes de fracture plutôt que de lois d'électricité voltaïque particulières. Néanmoins, comme des sortes différentes de roches partagent souvent des conditions électriques dissemblables, il est naturel de penser que ces conditions ont dû fréquemment commander à l'arrangement des précipités métalliques le long des fentes.

« J'ai observé, dit M. R. Fox, que lorsqu'on expose du chlorure d'étain en dissolution, dans un circuit voltaïque, une portion du radical se dépose, à l'état métallique, au pôle négatif, et l'autre portion au pôle positif, à l'état de peroxyde ; ce phénomène est tout à fait semblable à ce que présentent les mines du Cornouailles. L'expérience peut expliquer pourquoi l'étain se trouve contigu au minerai de cuivre, ou mêlé à ce minerai, et aussi comment il en est séparé en d'autres parties du même filon (2). »

(1) R. W. Fox, *On Mineral Veins*, p. 10.
(2) *Ibidem*, p. 38.

Age relatif des différents métaux. — Après de mûres réflexions sur les faits que nous venons de raconter, il ne saurait y avoir de doute : les veines minérales, de même que les éruptions de granit ou de trapp, doivent être rapportées à plusieurs périodes distinctes de l'histoire de la terre, et cette loi est incontestable, quelle que soit la difficulté que l'on éprouve à déterminer l'âge précis de chacune d'elles ; en effet, les veines sont souvent restées béantes pendant des âges ; de plus, comme nous l'avons vu, la même fissure, après avoir été jadis remplie, s'est plus tard maintes fois rouverte ou élargie. Mais, outre cette diversité d'époques, quelques géologues ont supposé que certains métaux dataient exclusivement de temps plus anciens, et certains autres, d'époques plus modernes ; que l'étain, par exemple, était d'une plus haute antiquité que le cuivre, ce dernier que le plomb ou l'argent, et ceux-ci, à leur tour, que l'or. Je répondrai à cette supposition : d'abord, les faits autrefois réunis à son appui sont combattus par l'expérience que j'ai mentionnée ci-dessus ; ensuite, jusqu'à quel point peut-on assigner un ordre chronologique précis aux métaux précieux et autres substances, au sein de la croûte terrestre.

Il n'est pas vrai que les filons au sein desquels l'étain abonde soient les plus anciens exploités de la Grande-Bretagne. Les Géologues du Gouvernement, chargés de la description de l'Irlande, ont démontré que, dans le Wexford, les veines de cuivre et de plomb (ces dernières habituellement argentifères) étaient beaucoup plus anciennes que celles d'étain, en Cornouailles. Chacune de ces deux contrées a vu s'opérer une série tout à fait semblable de changements géologiques, à deux époques parfaitement distinctes, — le Wexford avant le dépôt des couches Devoniennes, — le Cornouailles après la période Carbonifère. Commençons de plus amples explications par le district minier d'Irlande. Le granit, dans le Wexford, est traversé de veines granitiques, lesquelles pénètrent aussi au travers de strates du Silurien ; les roches siluriennes, aussi bien que les veines, ont été dénudées avant la super-

position des lits Devoniens. On trouve ensuite, pour le même comté, que les *Elvans*, ou dykes droits de granit porphyritique, ont coupé le granit ainsi que les veines dont il a été question ci-dessus, mais n'ont point pénétré jusqu'aux roches Devoniennes. Postérieurement à la production de ces elvans, à une époque certainement plus nouvelle que le Silurien, mais plus ancienne que le Devonien, des filons (qui n'atteignent pas jusqu'à ce dernier terrain) se remplirent de cuivre et de plomb, et l'on observe, près de Wexford, des filets minces ou petites bandes de cuivre dérivé, au sein de couches Devoniennes, non loin des localités où l'on exploite la mine de cuivre qui gît dans les couches Siluriennes (1).

Quoique l'âge précis de ces filons de cuivre soit encore enveloppé d'obscurité, on peut, sans crainte de se tromper, affirmer qu'il date de la fin de la période Silurienne ou du commencement de l'ère Devonienne. Outre le cuivre, le plomb et l'argent, il existe un peu d'or dans ces veines métallifères anciennes ou primaires. On a trouvé également quelques morceaux d'étain parmi le Drift (terrain de transport), à Wicklow, et l'on suppose qu'ils proviennent de veines du même âge (2).

Retournons maintenant au Cornouailles : nous y découvrirons encore bien d'autres monuments d'une série d'événements très analogues. En premier lieu, dans cette contrée, parut le granit; une fois celui-ci formé, et, à peu près vers la même époque, se produisirent des veines d'un autre granit à grain fin, souvent tortueuses (voy. fig. 692, t. II, p. 392), qui pénétrèrent à la fin la croûte extérieure ainsi que les roches fossilifères ou primaires avoisinantes, y compris les couches houillères; en troisième lieu, surgirent les elvans dans une direction rectiligne à travers le granit, les veines granitiques et les schistes fossilifères; en quatrième lieu,

(1) Je dois ces détails à Sir H. de la Bêche. Voyez aussi les cartes et coupes données par l'*Irish Survey*.

(2) Sir H. de la Bêche, Ms., *Notes on Irish Survey*.

arriva l'étain accompagné de cuivre, et ce fut là le premier des huit systèmes de fentes de différents âges dont nous avons parlé tome II, page 478. Dans le cas actuel, par conséquent, les filons d'étain sont plus nouveaux que les elvans. Quelques mineurs du Cornouailles ont, il est vrai, avancé que ces elvans étaient parfois postérieurs aux plus anciens filons d'étain; mais les observations recueillies par Sir H. de la Bêche, durant son voyage au nom du Gouvernement, l'ont conduit à une conclusion opposée, et ce savant a fait voir qu'il fallait autrement interpréter les cas supposés (1). On peut donc affirmer que les filons les plus anciens du Cornouailles sont plus nouveaux que les couches houillères de cette partie de l'Angleterre, et il résulte des faits observés qu'ils sont d'âge très postérieur au cuivre et au plomb du Wexford ou d'autres comtés voisins en Irlande. Or, de combien ces filons du Cornouailles sont-ils plus nouveaux que les derniers ci-dessus mentionnés? La réponse n'est pas facile : on peut dire cependant que, suivant toute probabilité, ils n'ont pas dépassé le commencement de la période Permienne, car on n'a découvert aucun filon d'étain au travers des grès rouges du groupe Poïkilitique, groupe supérieur à la houille dans le Sud-Ouest de l'Angleterre.

Les filons de plomb des collines Mendip se prolongent, à travers le calcaire de montagne, dans le conglomérat Permien ou Dolomitique, et ceux du comté de Glamorgan pénètrent au sein du Lias. D'autres, que l'on exploite près de Frome, comté de Somerset, ont été poursuivis jusque dans l'Oolite Inférieure. En Bohême, les riches filons d'argent de Joachimsthal coupent un basalte contenant de l'olivine et surmontant un lignite d'âge tertiaire, où sont disséminées des feuilles d'arbres dicotylédonés. L'argent, par conséquent, est ici décidément de formation tertiaire; quant à l'or des monts Ourals en Russie, que l'on tire principalement, de même que celui de Californie, des alluvions aurifères, il se rencontre dans des

(1) *Report on Geology of Cornwall*, p. 310.

veines de quartz, au sein des roches schisteuses et granitiques de cette chaîne; or, MM. Murchison, de Verneuil et Keyserling supposent qu'il est plus nouveau que le granit syénitique de l'Oural; peut-être serait-il de date Tertiaire. Ces savants observent que, jusqu'à présent, on n'a pas encore rencontré d'or dans les conglomérats Permiens qui gisent à la base des monts Ourals, bien que de grandes quantités de débris de fer et de cuivre soient mêlées aux cailloux roulés de ces couches Permiennes. Peut-être les veines quartzeuses de l'Oural, contenant de l'or et du platine, n'existaient pas encore; mais certainement elles n'avaient point alors été exposées à la dénudation aqueuse qui date de l'ère Permienne.

L'Alluvium aurifère de Russie, de Californie et d'Australie a fourni des ossements divers de quadrupèdes terrestres éteints; des restes de mammouths sont communs dans le gravier au pied des monts Ourals, tandis qu'en Australie les débris osseux appartiennent à de grands Marsupiaux dont quelques-uns avaient la taille du Rhinocéros, et se rapprochaient du Wombat vivant. Les Marsupiaux rappellent les genres *Diprotodon* et *Nototherium* du professeur Owen. L'or du Chili septentrional est associé, dans les mines de Los Hornos, à de la pyrite de cuivre en veines qui traversent les formations Crétacées-Oolitiques, ainsi appelées parce que leurs fossiles partagent à la fois les caractères Crétacés et Oolitiques de la faune d'Europe (1). L'or que l'on trouve aux États-Unis, au centre des régions montagneuses de la Virginie, des Carolines du Nord et du Sud et de Géorgie, appartient aux couches Siluriennes métamorphiques; mais on le rencontre, aussi, disséminé à travers un gravier qui dérive de ces couches.

On a découvert l'or dans presque toutes les espèces de roche, telles que schiste, quartzite, grès, calcaire, granit et serpentine, soit en filons, soit parmi la masse encaissante elle-même,

(1) Darwin, *South America*, p. 209, etc.

à petite distance des filons. En Australie, on l'a exploité avec profit non-seulement dans l'alluvium, mais encore sur veines au sein de la roche-mère qui, généralement, consiste en argile et schiste siluriens. La présence de l'or a été constatée en cette région sur plus de 9 degrés de latitude (entre les 30 et 39 degrés Sud), et sur 12 degrés de longitude ; pour toute cette surface, son rendement annuel a égalé, s'il n'a pas surpassé, celui de l'or en Californie ; et, jusqu'à présent, on n'a aucune raison de craindre que le profit diminue, ou encore moins que les placers viennent à s'épuiser. Il semble donc raisonnable de prévoir avec M. Delesse un temps (et ce temps ne saurait être très éloigné) où la valeur du métal éprouvera une dépréciation notable (1).

Suivant M. de Beaumont, il se trouve du plomb et quelques autres métaux à la fois dans certains dykes de basalte et de graünstein, et au sein de filons liés à des roches trappéennes, tandis que l'étain gît avec le granit et en filons associés à la série granitique. Si cette règle est générale, la position géologique de l'étain, quant aux localités qui ont été jusqu'à ce jour fouillées par le mineur, appartiendrait en majeure partie à des masses plus anciennes que celles chargées de plomb. Les filons d'étain seraient, pour la même raison, plus anciens, relativement, que les formations ignées, ou granits *sous-jacents*, visibles aux yeux de l'homme, et dateraient, en somme, d'une époque plus ancienne que les formations trappéennes qui les surmontent. Supposons différents groupes de fissures produites simultanément à divers niveaux de la croûte terrestre, et communiquant, les unes avec des masses volcaniques, et les autres avec des roches plutoniques ; admettons ensuite que tous ces groupes viennent à se remplir de substances métalliques variées : les fissures existant aux plus bas niveaux exigeront un temps plus considérable que les autres pour apparaître à la surface, ou arriver à la portée du mineur. La dénudation et l'exhausse-

(1) *Annales des mines*, 1853, t. III, p. 185.

ment se montreront d'autant plus énergiques, pour mettre ces fissures à découvert, que celles-ci se trouveront à de plus grandes profondeurs lors des premiers mouvements. Il a dû se passer une longue série d'événements géologiques avant l'apparition, à la surface du sol, des fentes qui ont, pendant des âges, avoisiné les roches plutoniques, et reçu les gaz chassés par le refroidissement. Mais je ne m'étendrai pas davantage sur ce sujet; le lecteur se rappellera ce que j'ai dit, dans les chapitres XXX, XXXIV et XXXVII, sur la chronologie des formations volcaniques et hypogènes.

CONCLUSION.

L'hypothèse d'après laquelle les roches hypogènes auraient été engendrées à diverses époques successives, et celle, bien plus, qui suppose des roches de même genre encore aujourd'hui en voie de formation, prennent faveur de jour en jour, mais leurs progrès sont très lents. La résistance que les esprits leur ont opposée découle en partie de l'obscurité inhérente à la véritable nature de l'action plutonique dont le théâtre fut immense à de certaines époques. Ces hypothèses, d'un autre côté, n'ont pas été accueillies, de prime abord, avec beaucoup d'empressement, pour des considérations extrinsèques : plusieurs géologues ne s'étaient pas décidés à admettre la doctrine de la transmutation des roches fossilifères en masses cristallines ; ils attendaient que l'on eût découvert des traces du commencement de la série, qui permissent de lire, dans l'histoire reculée de notre système planétaire, les faits des âges antérieurs à la création des êtres organisés. Jusqu'à présent, cette attente n'a pas été couronnée de succès : en effet, dans notre marche progressive, nous n'avons pas eu l'occasion de rencontrer des limites à cette durée pendant laquelle il a plu à l'Être tout-puissant

et éternel de manifester sa volonté créatrice ; mais, nous avons réussi au delà de toutes nos espérances à porter le flambeau de nos investigations très loin vers des temps antérieurs à l'existence de l'homme. De nombreux témoignages nous ont montré le commencement de la race humaine, et celui de toutes les espèces qui lui sont aujourd'hui contemporaines, ou qui l'ont précédée ; nous avons conclu, en conséquence, que l'état actuel du monde n'avait pas existé de toute éternité comme quelques philosophes l'ont avancé.

Des monuments multipliés attestent surabondamment que la surface de la terre a été remaniée mainte et mainte fois ; des chaînes entières de montagnes sont sorties de son sein, ou se sont abîmées dans ses profondeurs ; des vallées ont été violemment ouvertes, ensuite comblées, puis de nouveau excavées ; les mers et les terres ont changé de limites relatives ; — cependant, à travers toutes ces révolutions et les changements locaux et généraux de climats qui en sont résultés, la vie animale et végétale n'a pas cessé, elle a continué sans violation des lois qui régissent aujourd'hui la création organique, et tracent une limite à la variabilité des espèces. La succession des êtres vivants paraît s'être accomplie, non par la transmutation des espèces, mais par l'introduction, de temps à autre, sur terre, de plantes et d'animaux nouveaux dont chaque ensemble dut être admirablement approprié à l'état régénéré du globe, car les mêmes espèces n'auraient point crû, multiplié, ni duré pendant des périodes indéfinies (1). L'astronomie n'est pas encore parvenue à établir la pluralité de mondes habitables dans l'espace, quelque séduisant d'ailleurs que fût ce sujet de conjecture et de spéculation ; la géologie, non plus, n'arrive pas à prouver que d'autres planètes sont peuplées d'êtres vivants appropriés à leur climat, mais elle conduit à une conclusion non moins merveilleuse, l'existence, aux temps antiques, sur la terre que peuple aujourd'hui notre race,

(1) Voyez *Principes de Géologie*, vol. III.

de surfaces habitables innombrables, ou de mondes, comme on les appelle, chacun distinct par l'époque et par les espèces aquatiques ou terrestres.

Les preuves que nous avons accumulées sur l'étroite analogie existant entre les genres éteints et vivants sont si nombreuses et si concluantes, qu'il nous est impossible de douter de l'harmonie commune présidant à toutes les parties ; et, la même magnificence d'invention que nous admirons dans la création vivante, caractérise au même degré le monde organique aux époques les plus reculées. Mais ce n'est là qu'un premier sujet d'admiration : lorsque nos connaissances auront été complétées sur l'inépuisable variation des êtres naturels, et que notre esprit se sera incliné de plus en plus devant la sagesse infinie et la suprême puissance qui a tout tiré du néant, tout organisé, il nous restera encore à songer qu'à la dernière, seulement, des grandes séries de création on est en droit, jusqu'à présent, d'assigner un nombre ou des limites à travers le temps (1).

(1) Lyell, *Anniv. Add. to the Geol. Soc.*, 1837. *Proceed. G. S.*, vol. II, p. 520.

FIN DU DEUXIÈME ET DERNIER VOLUME.

TABLE ALPHABÉTIQUE

GÉNÉRALE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LES DEUX VOLUMES.

Abaissement du sol pendant la période de transport, I, 227.
Abich (M.), roches trachytiques, II, 231.
Acrodus nobilis (dent d'), II, 6.
Acrolepis Sedgwickii (écaille d'), II, 58.
Actæon acutus, grande oolite, I, 474.
Affleurement, explication de ce mot, I, 90.
Agassiz (M.), cité, I, 140, 343; II, 7, 51, 128, 151, 156.
—, empreintes fossiles de pas, II, 49.
—, glaciers, I, 141.
—, poisson de Sheppey, I, 348.
—, poisson fossile du lias, II, 5.
—, poisson fossile d'un schiste marneux Permien, II, 57.
—, poissons du lignite, II, 346.
Age, (caractère de l'), pour les roches plutoniques, II, 399.
—,—, pour les roches métamorphiques, II, 401.
—,—, pour les roches volcaniques, comment l'estimer, II, 318.
— des volcans Espagnols, II, 341.
— indiqué par les fragments de roches plus anciennes, I, 165.
Agglomérat, roche volcanique, II, 238, 240.
Agnostus integer, *A. rex*, II, 203.
Aix-la-Chapelle (sources chaudes à), II, 435.
Alabama, (bloc de transport, crétacé d'), I, 397.
Albâtre, sa définition, I, 22.
Alberti, sur le Keuper, II, 26.
Alexandre (Capit.), coquilles marines dans le crag, I, 251.
Alluvium, explication de ce mot, I, 128.
— en Auvergne, I, 129.
— (formation de l'), I, 131.
Alpes, couches contournées, I, 98.
— de la Suisse, II, 465.
— de la Suisse et de la Savoie, clivage des roches, II, 446.
—, formation nummulitique, I, 361.
—, gneiss, II, 466.
—, roches fossilifères à des niveaux très élevés, I, 6.
Alternance, des formations marines et d'eau douce, I, 53.
— des roches, I, 23.
Alumine dans les roches, I, 18.
Amblyrhynchus cristatus (récent), II, 13.
Amérique du Nord, lithodomes le long des plages, I, 125.
Amérique du Sud, couches crétacées, I, 398.
—, élévation graduelle de certaines parties, I, 76.
—, fossiles, I, 262.
Ammonites bifrons, *A. Nodotianus*?, *A. striatulus*, *A. Walcotii*, II, 4; *A. Braikenridgii*, *A. margaritatus*, *A. Stokesii*, *A. striatulus*, I, 484; *A. Elisabethæ*, *A. Jason*, I, 469; *A. Humphresianus*, I, 484; *A. Rhotomagensis*, I, 391.
Ampélite, ou schiste alumineux, II, 426.
Amphibole, II, 228.
Amphibolite, ou roche de hornblende, II, 240, 426.
Amphistegina Hauerina, éocène, I, 287.
Amphitherium Broderipii (mâchoire d'), I, 478.
Amph. Prevostii (mâchoire d'), I, 478.
Ampullaria glauca (récent), I, 49.
Amsterdam (île d'), ou de Saint-Paul, II, 297.
Amygdaloïde, II, 234.
Ananchites ovatus, Craie, I, 384.
Ancillaria subulata, éocène, I, 50.
Ancyloceras gigas, I, 402; *A. spinigerum*, I, 391.
Ancylus elegans, pleistocène, I, 48.
Andelys (falaises de craie aux), I, 417.
Andernach (couches près d'), II, 340.
Andes, roches plutoniques, II, 405.
—, roches transportées des Andes à Chiloé, I, 242.
Andésite, II, 232.
Animaux à respiration pulmonaire, leur rareté dans la houille, II, 131.
Anodonta Cordierii, *A. latimarginatus* (récent), I, 47.
Anoplotherium commune (dent d'), I, 332.
Anopl. gracile, contour, I, 353.
Antholites, de la houille, II, 84.
Anthophyllum lineatum, I, 291.
Anthracite à Rhode-Island, II, 437.
Antrim, (âge du basalte d'), I, 289.
—, roches altérées par des dykes, II, 253.
Anvers, couches presque analogues au crag de Suffolk, I, 277.
Apateon pedestris, reptile carbonifère, II, 123.

Aphanite, ou cornéenne, II, 240.
Apiocrinites rotundus, oolite, I, 472.
Appalaches, (bassin houiller des), II, 113.
—, roches altérées, II, 437.
Aptéryx, dans la Nouvelle-Zélande, I, 265.
Aptychus latus, oolite, I, 466.
Apus? dubius, T. houiller, II, 106.
Aralo-Caspiennes (formations), I, 280.
Arbres fossiles en position verticale, II, 85.
Arbroath, (coupe d') aux Grampians, I, 79.
— (pierre à paver d'), II, 151.
Archegosaurus medius, *Arch. minor*, houille, II, 124.
Archiac (M. d'), cité, I, 241.
—, coquilles de l'Éocène inférieur de France, I, 358.
—, fossiles de la craie, I, 392.
Ardèche (lave dans l'), II, 259.
Ardoises du Devon, clivage, II, 449.
Argile, sa définition, I, 18.
Argile de Londres, I, 341.
Argile du Weald, I, 404.
Argile plastique, I, 345.
— ou Éocène inférieur, I, 359.
Argyleshire (veine de trapp dans un escarpement de l'), II, 248.
Argyll (Duc d'), dépôts tertiaires de l'île de Mull, I, 287.
Arkose, II, 426.
Arran, (âge du granit d'), II, 415.
— (coupe d'), II, 418.
—, dyke de greenstone, II, 247.
Arthur's Seat (couches altérées d'), II, 255.
Arvicola (dent d'), I, 268.
Asaphus tyrannus, Silurien inférieur, II, 189.
Ascension (schistosité des roches volcaniques à l'), II, 453.
Ashby-de-la-Zouch (faille dans le bassin houiller d'), I, 110.
Aspidura loricata, Permien, II, 27.
Astarte bipartita, *A. Omalii*, I, 275.
Ast. borealis, I, 211; *A. Laurentiana*, I, 227.
Asterophyllites foliosa, de la houille, II, 76.
Asti (formations d'), I, 278.
Astrangia lineata, I, 291.
Astropecten crispatus, Éocène, I, 344.
Atherfield (couches crétacées d'), I, 400.
Athyris navicula, Aymestry, II, 475.
Atrium d'un volcan, II, 286.
Atrypa reticularis, Aymestry, I, 179.
Aturia zicsac, argile de Londres, I, 344.
Augite, II, 230.
Aulopora serpens, Devonien, II, 162.
Auricula (récente), I, 48.
Aurillac (couches d'eau douce d'), I, 325.
Austen (M. R.), A. G., sur le Grès Vert Supérieur, I, 391.
—, sur le phosphate de chaux, I, 392.
Australie, brèches osseuses, I, 260.
—, gravier aurifère, II, 494.
Australie, mammifères éteints dans le gravier aurifère, II, 494.
Auvergne, alluvium, I, 128.
—, calcaire à Induses, I, 318.
—, couches lacustres, I, 317.
—, formations d'eau douce, I, 321.
—, succession de changements en ce pays, I, 312.
—, veines minérales, II, 484.
—, volcans éteints, 550.
Aveline (M.), sur le Grès de Caradoc, II, 185.
Avicula cygnipes, *A. inæquivalvis*, II, 2.
Avic. papyracea, II, 108; *A. socialis*, II, 27.
Aviculopecten sublobatus, II, 137.
Axinus angulatus, argile de Londres, I, 346.
Aymestry (calcaire d'), II, 177.

Bacillaria, fossile du tripoli, I, 41.
— *vulgaris*? du tripoli, I, 41.
Baculites anceps, *B. Faujasii*, I, 384.
Bagshot (sables de), I, 338.
Bahia-Blanca, débris fossiles de cet endroit, I, 249.
Baiæ (couches de la baie des), II, 322.
Bakewell (M.), clivage dans les Alpes, II, 446.
Bala, (roches siluriennes inférieures à), II, 190.
Balgray, près Glasgow, troncs d'arbres dans la houille, II, 85.
Balæna emarginata (os tympanique de), I, 377.
Baltique (couches d'eau saumâtre sur la côte de la), I, 192.
Barrande (M.), faune primordiale, II, 193.
—, roches Siluriennes de Bohême, II, 190.
—, trilobites, II, 189.
Barcombe (gravier à silex de la craie près de), I, 443.
Barton (argile de), I, 336.
Basalte, I, 10; II, 229.
— colonnaire, de la Chaussée des Géants, I, 10.
— —, dans l'Eifel, II, 260.
— —, près de Vicenzac, II, 259.
— —, sa structure, II, 257.
Basilosaurus cetoïdes, I, 365.
Basset (affleurement), explication de ce mot, I, 90.
Bassin houiller, à Burdiehouse, II, 107.
— aux États-Unis, diagramme, II, 110.
— d'Ashby-de-la-Zouch, I, 110.
— du Yorkshire, ses fossiles, II, 107.
— oolitique de Richmond, Virginie, II, 20.
Basterot (M. de), terrains tertiaires du midi de la France, I, 178.
Batracien (œuf de?), dans le vieux grès rouge d'Ecosse, II, 154.
Bayfield, Capit., coquilles fossiles du Canada, I, 226.
—, falaises intérieures dans le golfe de Saint-Laurent, I, 125.

Beachy-Head (falaises crayeuses près de), I, 426.
Bean (M.), coquilles du crag de Norwich, Yorkshire, I, 252.
—, coquilles fossiles de l'oolite, I, 482.
Beaumont (M. E. de), Alpes de la Suisse, II, 409.
—, calcaire pisolitique, I, 370.
—, formation oolitique en France, I, 393.
—, roches des Hautes-Alpes, II, 409.
—, sur le quartz, II, 382.
—, sur l'île de Weald, I, 434.
Beck (Dr), cité, I, 230, 380.
—, graptolites, II 191.
Belemnites hastatus, I, 469 ; *B. mucronatus*, I, 384.
Belemnites Puzosianus, Oxford-clay, I, 470.
Bellerophon costatus, carbonifère, II, 139.
Belosepia sepioïdea, éocène, I, 344.
Bembridge ou Binstead, île de Wight, (couches de), I, 308, 330.
Berenicea diluviana, oolite, I, 472.
Berger (Dr), roches altérées par des dykes, II, 253.
Bergmann, sur le trapp, II, 220.
Berlin (couches tertiaires près de), I, 303.
Bermudes, lagoons dans ces îles, I, 337.
— (roches des), I, 126.
Berthier (M.), sur l'augite et le hornblende, II, 226.
Beudant (M.), sur la Hongrie, II, 352.
Beyrich (M.), terrains tertiaires de Berlin, I, 303.
—, terrains tertiaires du nord de l'Allemagne; I, 286.
Biarritz (falaises calcaires à), I, 116.
Bilin (tripoli de), composé d'infusoires, I, 42.
Binney (M.), sur les Stigmaria et Sigillaria, II, 78.
Bischoff (Prof.), expériences sur le calorique, II, 433.
—, sur la vapeur à une haute température, II, 433.
Blackdown (lits de), équivalents du gault, I, 392.
Blainville (de), sur le nombre des genres de mollusques, I, 46.
Blocs alpins sur le Jura, I, 240.
Blocs de transport, I. 206.
Blocs erratiques, I, 236. Voyez Blocs de transport.
Blocs striés, I, 229. Voyez Blocs erratiques.
Boase (Dr), cité, II, 439.
Boblaye (M.), cité, 560.
—, falaises intérieures, I, 117.
Bohême (roches siluriennes de), II, 203.
Bois du lias, II, 17.
Bois fossile, de la houille, sa structure microscopique, I, 65.
— percé par des Térédines, I, 39.
— provenant de Coalbrook-Dale, sa structure particulière, II, 80.
Bois récent, perforé par les mollusques, I, 39.
Bois, son mode de pétrification, I, 65,
Bolderberg en Belgique, couches miocènes ou faluniennes, I, 285.
Bonelli, couches tertiaires en Italie, I, 179.
Boom et Rupelmonde, I, 302.
Bordeaux, (couches faluniennes près de), I, 285.
— (dépôts tertiaires de), I, 285.
Borrowdale (graphite de), I, 62.
Bosquet (M.), coquilles tertiaires de Kleyn Spawen, I, 296.
—, couches de Maëstricht, I, 238.
Bos taurus (dent de), I, 267.
Boston. Et. U., couches récentes palustres, exhaussées et recourbées, I, 219.
Bothnie (golfe de), sol exhaussé, I, 75.
Boué (M.), Alpes de la Suisse, II, 466.
—, classification de certaines roches, I, 155.
—, coquilles fossiles de Hongrie, II, 353.
—, marbre de Carrare, II, 463.
Boutigny (M.), cité, II, 386.
Bowen (Lieut. de la M. R.), esquisses de roches dans le golfe de Saint-Laurent, I, 125.
Bowerbank (M.), flore fossile de Sheppey, I, 342.
Bowman (M.), sur des couches de houille, II, 115.
Bracklesham (baie de), ses coquilles caractéristiques, I, 338.
Bradford (encrines de), I, 473.
Brash, explication de ce mot, I, 131.
Bravard (M.), mammifères d'Auvergne, I, 223,
Brèches sur d'anciennes lignes de côte, I, 118.
Brésil (cavernes à ossements du), I, 264.
Brickenden (Capit.), fossiles d'Elgin, II, 148.
Brighton (lit à éléphants, à), I, 444.
Bristol, (conglomérat dolomitique près de), 357.
— (coupe des environs de), I, 166.
Brocchi, sur les terrains Apennins, I, 178, 278.
Brockedon (M.), sur la plombagine, I, 63.
Broderip (M.), cité, I, 480.
Brodie (M. W. R.), mammifère de Purbeck, I. 456.
Brodie (R. P. B.), insectes fossiles, I, 464 ; II, 16.
Bromley (lit à huîtres près de), I, 346.
Brongniart (M. Ad.), âge des acrogènes, II, 84.
—, Asterophyllites, II, 76.
—, cônes de sapin, fossiles, II, 72.
—, flore de la période crétacée, I, 412.
—, flore éocène, I, 341.
—, flore Permienne, II, 61.
—, plantes du Bunter-Sandstein, II, 28.
—, Sigillaria, II, 77,
—, Stigmaria, II, 78.
—, végétaux fossiles du Lias, II, 17.
— (M. Al.), coquilles de la formation nummulitique, I, 361.
—, formation éocène, I, 349.
—, mine de houille près Lyon, II, 89.
—, terrains tertiaires de Paris, I, 177.
Brontes flabelliber, Devonien, II, 164.

Brora, (formation houillère, oolitique de), I, 482.
— (granit près de), II, 414.
Brown (M. Richard), bassin houiller du cap Breton, II, 98.
—, gouttes de pluie carbonifères, II, 99.
—, Stigmaria, II, 78.
—, sur la formation houillère, II, 78.
Buch (Baron de), cité, II, 236, 411.
—, blocs de transport du Jura, I, 241.
—, Canaries, II, 275.
—, Cystidées, II, 187.
—, exhaussements du sol, I, 75.
—, lignite, I, 306.
Buckland (Dr), cité, I, 259, 461, 476, 477.
—, caverne de Kirkdale, I, 258.
—, coprolites de la craie, I, 378.
—, destruction subite de sauriens, II, 14.
—, glaciers du Caernarvonshire, I, 220.
—, lit à ossements des environs de Bromley, I, 346.
—, *paralle lroads*, I, 141.
—, poisson du lias, II, 8.
—, sauriens du lias, II, 11.
—, sur le mot Poikilitique, II, 25.
—, végétaux houillers, II, 85.
Buddle (M.) anciens lits de rivière de la période houillère, 399.
—, *creeps*, dans les mines de houille, I, 82.
Buist (Dr G.), salure de la mer Rouge, II, 44.
Bulimus ellipticus, I, 331; *B. lubricus*, I, 49.
Bunbury (M. C. J. F.), plantes fossiles de Madère, II, 305.
—, végétaux d'un bassin houiller oolitique, II, 21.
Bunsen (Prof.), sur la Palagonite, II, 238.
Bunter-Sandstein, II, 28.
Buprestis? (élytre de), dans l'oolite, I, 476.
Burmeister, trilobites, II, 189.

Cailloux roulés (galets) dans la craie, I, 379.
Caire (excavations au), I, 4.
Calamite, (extrémité de racine d'une), II, 73.
— (structure d'une), II, 75.
Calamites cannæformis, *C. Suckowii*, II, 73.
Calamites près de Pictou, II, 90.
Calamodendron, II, 76.
Calamophyllia radiata, oolite, I, 471.
Calcaire, (brèche), II, 54.
— à Hippurites, I, 392.
— à Induses (Auvergne), I, 318.
— compacte, II, 56.
— cristallin, II, 53.
— de montagne (fossiles du), II, 134.
— du Jura, I, 468.
— du système Devonien en Allemagne, II, 160.
— fossilifère, II, 55.
— grossier, I, 355.
— magnésien, II, 52
— primaire ou métamorphique II, 42.
— siliceux, I, 254.
Calcaires (roches), I, 19.
Calcarina rarispina, Éocène, I, 356.
Calceola sandalina, Devonien, II, 164.
Caldcleugh (M.), cité, II, 316.
Caldera de Palma, II, 274 à 296.
Californie (gravier aurifère de), II, 494.
Calymene Blumenbachii, Wenlock, II, 183.
Cambrien (groupe), II, 199.
— (lits fossilifères inférieurs du), II, 202.
Cambriennes (roches), de Suède, II, 205.
— des États-Unis, II, 205.
— volcaniques, II, 276.
Campagna di Roma (tuffs de la), II, 234.
Campophyllum flexuosum, Devonien, II, 134.
Canada (coquilles dans le terrain de transport du), I, 225.
Cantal, (formation d'eau douce du), I, 324; II, 366.
— (roches ignées du), II, 366.
Cap-Breton (houille du), II, 98.
Cap Wrath (veines de granit du), II, 391.
Caradoc (grès de), II, 184.
Carbonate de chaux, dans les roches, comment le reconnaître, I, 20.
— rare dans les roches métamorphiques, II, 470.
Carbonifère, (calcaire), de l'Amérique du Nord, II, 142.
— (flore), II, 68, 82.
— (groupe), II, 64.
— reptiles, II, 122.
Carbonifères (roches volcaniques), II, 271.
Carcharodon heterodon (dent de), I, 340.
Cardiocarpon Ottonis, Permien, II, 62.
Cardita globosa, I, 337; *C. planicosta*, I, 338.
Cardium dissimile, *C. striatulum*, I, 465.
— *porulosum*, Éocène, I, 359.
Carne (M.), filons du Cornouailles, II, 479, 481.
Carrare (marbre de), II, 428, 462.
Carte, des couches éocènes de la France centrale, I, 311.
— retraçant la dénudation du Weald, I, 423.
Caryophyllia cespitosa (lit de) en Sicile, I, 254.
Castrogiovanni (courbes recourbées près de), I, 94.
Catalogne (région volcanique de), II, 332.
Catenopora escharoïdes, Wenlock, II, 181.
Catillus Lamarckii, craie, I, 386.
Caulopteris primæva, houiller, II, 76.
Cautley (Sir Proby), sur les collines Sewalik, I, 292.
Cavernes à ossements, à Kirkdale, I, 258.
— en Australie, I, 260.
— en Europe, I, 258.
— en Sicile, I, 258.
Cephalaspis Lyelli, vieux grès rouge, II, 151.
Ceratites nodosus, triasique, II, 26.
Cerithium cinctum, I, 49; *C. concavum*, I, 334.

Cerithium elegans, *C. plicatum*, I, 309; *C. melanoides*, 347.
Cervus alces (dent de), I, 267.
Cestracion Philippi [récent] (mâchoire de), I, 389.
Chama squamosa, Éocène, I, 336.
Chambers (M.), sur Glen-Roy, I, 143.
Chamisso, cité, I, 380.
Chara elastica (récente), *C. medicaginula*, I, 51; *C. tuberculata*, I, 332.
Charas, dans des couches Éocènes de France, I, 340.
— dans des silex du Cantal, I, 326.
— dans le Purbeck, I, 456.
— dans les couches d'eau douce, I, 51.
Charlesworth (M. E.), sur le Crag, I, 270.
—, sur le mammifère de Stonesfield, II, 215.
Charpentier (M.), glaciers des Alpes, I, 236, 241.
Chaussée des Géants, (âge du basalte de la), I, 289.
— (colonnes de la), II, 257.
Chauve-souris (dent de), I, 345.
Chaux, en dissolution, son origine, I, 69.
—, sa rareté dans les roches métamorphiques, II, 623.
Cheirotherium (empreintes de pas de), II, 32, 125,
Chélonien (empreintes de pas d'un), II, 148.
Chiastolite-schiste, II, 427.
Chili (mines d'or au), II, 494.
Chiloe (roches transportées des Andes à), I, 243.
Chimæra monstrosa (récente), II, 7.
Chlorito-schiste, I, 13; II, 426.
Christiania, (dyke près de), II, 250.
— (gneiss près de), II, 393.
— (granit à travers les couches près de), II, 393.
— (granit près de), II, 393.
— (passage du granit aux roches trappéennes à), II, 387.
Chronologiques (groupes), I, 167.
Cidaris coronata, coral-rag, I, 468.
Cinder-bed, Purbeck, I, 455.
Cladocora stellaria, Pliocène, I, 254.
Claiborne (coquilles marines de), I, 366.
Classification des roches et des couches, I, 3, 17, 169.
Clausen (M.), cavernes du Brésil, I, 264.
Clavula corrugata, Éocène, I, 357.
Climat, de la période de transport, I, 234.
— de la période houillère, II, 121.
Clinkstone, ou phonolite, II, 241.
Clinton (groupe de), Silurien, Etats-Unis, II, 196.
Clivage des roches, II, 445, 450.
Clymenia linearis, Devonien, II, 160.
Coalbrook-Dale, (cônes fossiles à), II, 72.
— (couches houillères de), II, 105.
— (failles à), I, 99.
— (insectes dans la houille de), II, 107.
Cœlacanthus granulatus (écaille de), II, 57.
Cœlorhynchus (épée de), I, 339.
Cochliodus contortus (dent de), II, 141.
Cockfield-Fell (roches altérées par les dykes à), II, 254.
Colchester (M.), mammifères de Kyson, I, 345.
Colombie (Rio Vinagre en), I, 352.
Côme (ravin dans la lave de), II, 262.
Concrétionnée (structure), I, 61.
Condensation des roches, I, 62.
Cône de pin, Purbeck, I, 464.
Cônes et cratères, II, 222.
— dans le Val di Noto, II, 264.
—, leur absence en Angleterre, I, 19.
Conglomérat, dolomitique, II, 58.
— ou poudingue, I, 18, 78.
Conifères fossiles, II, 79.
Connecticut, (ancienneté des lits du), II, 50.
— (vallée du), II, 46.
Conocephalus striatus, Cambrien, II, 203.
Conrad (M.), roches crétacées, I, 397.
Consolidation des couches, I, 55.
Conularia ornata, Devonien, II, 163.
Conus deperditus, Éocène, I, 341.
Conybeare (M.), cité, I, 102, 111, 424; II, 3.
—, oolite et lias, II, 18.
—, sur le mot Poïkilitique, II, 25.
—, sur le Plésiosaure, II, 10.
Cook (Capit.), sur le *Fucus giganteus*, I, 380.
Coprolites dans la craie, I, 378.
Coquilles fossiles, *passim*.
— de l'Etna, II, 318.
— des couches de Mayence, I, 304.
— de Virginie, I, 290.
— près de Grignon, I, 356.
— utiles pour la classification, I, 185.
Coquilles récentes, I, 47, 48, 49, 227, 233.
Corallin [Crag], (comparaison des faluns et du), I, 285.
— (fossiles du), I, 274.
Coral-rag de l'oolite, I, 467.
Coraux, de la formation du Wenlock, II, 180.
— des couches Devoniennes aux Etats-Unis, I, 170.
— du Devonien, II, 161.
— —, leur distribution géographique, II, 170.
— (îles et récifs de), I, 56, 76.
— (type néozoïque des), II, 133.
— (type paléozoïque des), II, 133.
Corbula alata, Purbeck, I, 408.
Corb. pisum, Éocène, I, 308.
Corinthe (corrosion de roches par les gaz près de), II, 434.
Cornbrash de l'oolite inférieure, I, 470.
Cornéenne, ou sphanite, II, 241.
Cornouailles (argile en), I, 19.
—, étain plus nouveau que le cuivre d'Irlande, II, 493.
—, veines granitiques, II, 392, 421.
— veines minérales, II, 479, 482.
Cotta (D. B.), granit de Saxe, II, 415.

Couches, (affleurements des), I, 90.
— (classification des), déterminée par les fossiles, I, 36, 37.
— (composition minérale des), I, 17.
—, définition du mot, I, 3.
— fossilifères (tableau des), I, 169.
—, leur accroissement graduel, I, 37.
—, leur exhaussement au-dessus du niveau de la mer, I, 72.
—, leur horizontalité, I, 24, 74.
—, métamorphiques (origine des), II, 436.
— recourbées, I, 77, 80, 218.
—, recourbées et verticales, I, 74, 93.
—, tertiaires (classification des), I, 176.
Couleur dans les coquilles du calcaire de montagne, II, 137.
Coupe, de la craie blanche de l'Angleterre à la France, I, 375.
— des roches volcaniques d'Auvergne, II, 357.
— du Weald, I, 423.
Crag, corallin, (fossiles du), I, 274.
— du Suffolk, rouge et corallin, I, 178, 270.
— fluvio-marin de Norwich, I, 250.
Craie blanche, I, 19, 375.
— (aiguilles de), en Normandie, I, 420.
— (étendue et origine de la), I, 376.
— (fossiles de la), I, 43, 383.
— (origine animale de la), I, 377.
Craie (cailloux roulés dans la), I, 379.
— (coupe de la), I, 376.
— de Faxoe, I, 374.
— (différences de la) dans le nord et le midi de l'Europe, I, 392.
— (falaises intérieures de la), sur la Seine, I, 417.
— (lits à silex de la), près Barcombe, I, 442.
—, lits crétacés, I, 371.
— (piton de), près de Sherringham, I, 217.
Craigleith, (arbre traversal de la carrière de), II, 91.
— (arbres fossiles de), I, 65.
Crania, adhérent à un *Echinus*, I, 38.
— *Pariensis*, craie, I, 383.
Crassatella sulcata, Eocène, I, 337.
Crassina Omalii, crag corallin, I, 275.
Cratère de l'île de Saint-Paul, II, 298.
Credneria dans le Quadersandstein, I, 413.
Creeps dans les mines de houille, leur description, I, 83.
Crétacé (groupe), I, 368.
— inférieur, I, 399.
Crétacée (période) (roches plutoniques de la), II, 408.
Crétacées (roches), aux Etats-Unis, I, 397.
— dans l'Amérique du Sud et dans l'Inde, I, 398.
— des Pyrénées, II, 408.
— volcaniques, II, 370.
Crinoïdes siluriens, II, 182.
Cristallin (calcaire), II, 53.
Cristallines (roches), à tort appelées primitives, I, 15.
— (feuilletage des), II, 454.
Cristallins (schistes), leur définition, I, 2.
Cristellaria rotulata, craie, I, 44.
Crocodiles près Cuba, II, 11.
Croizet (M.), mammifères fossiles d'Auvergne, I, 323.
Cromer (terrain de transport contourné près de), I, 216.
Croûte terrestre, sa définition, I, 2.
Curral, vallée de Madère, sa formation, II, 307.
Cutch (Runn de), II, 41.
Cuvier, Amphithérium, I, 478.
—, formation éocène, I, 350.
—, fossiles de Montmartre, I, 350, 353.
—, terrain tertiaire des environs de Paris, I, 176.
Cyathea glauca (récente), II, 70.
Cyathina Bowerbankii, Gault, II, 134.
Cyathocrinites planus, carbonifère, II, 136.
Cyathocrinus caryocrinoïdes, II, 136.
Cyathophyllum flexuosum, II, 134; *C. cæspitosum*, II, 162; *C. turbinatum*, II, 181.
Cycadeoidea megalophylla, Purbeck, I, 458.
Cycadites comptus, oolite, I, 482.
Cyclas amnica, I, 215; *C. obovata*, I, 46.
Cyclopes (îles) en Sicile, II, 319.
Cyclopteris hibernica, Devonien, II, 149.
Cyclostoma elegans, Pleistocène, I, 49.
Cylindrites acutus, oolite, I, 474.
Cyprides, Purbeck inférieur, I, 457; Purbeck moyen, I, 455; Purbeck supérieur, I, 454; Wealdien, I, 407.
Cypridina serrato-striata, Devonien, II, 160.
Cypris, des lits du Purbeck, I, 454, 455, 457.
— des marnes d'Auvergne, I, 317.
— du lias, II, 16.
— du Weald, 407.
Cypris? inflata, T. houiller, II, 105.
Cypræa coccinelloides, crag rouge, I, 273.
Cyrena consobrina, I, 46; *C. cuneiformis*, I, 347; *C. semistriata*, I, 308.
Cytherella, craie, I, 44.
Cystidées, en roches siluriennes, II, 188.

Dadoxylon, végétal houiller, II, 80.
Dana (M.), calcaire cristallin, II, 438.
—, récifs de coraux aux îles Sandwich, I, 378.
—, volcans des îles Sandwich, II, 267; II, 274.
Dapedius monilifer (écailles de), II, 6.
Daphnogene cinnamomifolia, I, 307.
Dartmoor (granit de), II, 411.
Darwin (M.), abaissement de récifs de coraux, I, 76.
—, blocs de transport et glaciers du sud de l'Amérique, II, 456.
—, cité, I, 378; I, 380.
—, couches récentes près de Lima, I, 194.

Darwin (M.), division laminaire des roches volcaniques, II, 458.
—, dyke à Sainte-Hélène, II, 328.
—, exhaussement graduel d'une partie de l'Amérique du Sud, I, 76.
—, feuilletage des roches, II, 453.
—, fossiles de l'Amérique du Sud, I, 249.
—, glaciers des Welsh, I, 221.
—, habitudes de l'Autruche, II, 50.
—, îles à coraux du Pacifique, I, 378.
—, roches plutoniques des Andes, II, 405.
—, sauriens des îles Galapagos, II, 12.
—, sur le *Fucus giganteus*, I, 380.
—, sur les *parallel roads*, I, 140, 142.
Daubeny (D^r), sur la Solfatare, II, 434.
—, volcans d'Auvergne, II, 365.
Davidson (M.), spirifères liasiques, II, 3.
Dawson (M.), végétaux houillers, II, 97.
Dax (falaise intérieure à), I, 115.
Dean (forêt fossile dans la houille de), II, 121.
Deane (D^r), empreintes fossiles de pas, II, 47.
Dechen (M. Von), reptiles du bassin houiller de Saarbrück, II, 123.
—, veines granitiques du Cornouailles, II, 392.
Delesse (M.), analyses de minéraux, II, 245.
—, latérite d'Antrim, II, 239.
—, sur la roche d'hypersthène, II, 241.
—, sur la serpentine, II, 243.
—, sur le basalte, II, 230.
—, sur le calcaire hypogène, II, 438.
Déluge, I, 7.
Dents de mammifères vivants et fossiles, I, 267; 268; 265; 345; 365; 478; II, 36.
Dénudation, de cratères volcaniques, II, 289, 295.
— de la vallée du Weald, I, 421.
— (explication de la), I, 106.
— (terrasses de), en Sicile, I, 121.
Dépôts aqueux chimiques et mécaniques, I, 55.
— (superposition des), I, 157.
Derbyshire (filons de plomb en), II, 489.
Deshayes (M.), classification des terrains tertiaires, I, 186.
—, coquilles de l'éocène inférieur, I, 358.
—, coquilles fossiles de Hongrie, II, 353.
—, couches marines supérieures, I, 295.
—, identification de coquilles, I, 295.
Desmarest, roches trappéennes, I, 148.
Desnoyers (M.), faluns de Touraine, I, 179.
Desor (M.), faune glaciaire du nord de l'Amérique, I, 225.
Développement progressif (théorie du), II, 208.
Devonien (système), explication de ce mot, II, 158.
Devonienne (série), de Russie, II, 166.
— des États-Unis, II, 167.
— du Devon Septentrional, II, 159
Diagonale (stratification), I, 27.
Diatomacées du tripoli, I, 41.
Diceras arietinum, I, 468.
Dicotylédonés (feuilles de), dans la craie inférieure, I, 413.
Didelphys Azaræ (récent), (mâchoire de), I, 479.
Didymograpsus geminus, *D. Murchisoni*, II, 190.
Dikelocephalus Minnesotensis, II, 208.
Diluvium, sens vulgaire de ce mot, I, 222.
Dinornis de la Nouvelle-Zélande, I, 265.
Dinotherium de l'Inde, I, 292.
Dinotherium giganteum (mâchoire de), I, 282.
Diorite ou greenstone, II, 232, 241.
Diplograpsus folium, *D. pristis*, II, 191.
Direction des couches, explication de ce mot, I, 86.
Dirt-bed (lit de boue) de Purbeck, I, 458, 464.
Disaster ringens, oolite inférieure, I, 483.
Dolérite ou greenstone, II, 230, 241.
Dolomie, sa définition, I, 22.
Dolomitique (conglomérat), II, 59.
Domite ou trachyte terreux, II, 241.
Doue (M. B. de), sur les volcans du Velay, II, 365.
Downs du Sud (vue des), I, 425.
Drift (Voyez transport, formation de).
Dudley, (calcaire de), II, 180.
— (schistes argileux de la houille près de), II, 430.
Dufrénoy (M.), colline de Gergovia, II, 368.
—, granite des Pyrénées, II, 431.
Dunker (D^r), sur le Weald du Hanovre, I, 410.
Dura-Den (grès jaune de), II, 146.
Dyke à Sainte-Hélène, II, 328.
Dykes, à Palagonia (Sicile); II, 329.
— (définition des), I, 9.
— de la Somme, II, 323.
— en Écosse, II, 247.
— trappéens, cristallins à leur centre, II, 246; 250.

Eau douce, (coquilles d') dans le lignite des environs de Bonn, II, 344.
— (coquilles terrestres nombreuses des lits d'), I, 45.
— (dépôts d'), dans la vallée de la Tamise, I, 247.
— (formations d'), associées au transport du Norfolk, I, 214.
—, — comment les distinguer des formations marines, I, 45; 46; 49; 52.
— (lits d'), dans l'île de Wight, I, 331.
Echinodermes du crag corallin, I, 276.
Echinospharites Balticus, II, 188.
Echinus avec *Crania* adhérente, I, 38.
Ecosse, (transport du Nord en), I, 211.
—, trapps carbonifères, II, 371.
—, vieux grès rouge, II, 150.
Egée, (limon de la mer), I, 58.
Egerton (M.), fossiles de l'Inde méridionale, I, 398.

Egerton (Sir P.), fossiles de l'île de Wight, I, 335.
—, Ichthyosaure, II, 8.
—, poisson fossile des lits de Connecticut, II, 51.
—, poissons d'un schiste marneux, II, 57.
—, sur des sauriens et un poisson du nouveau grès rouge, II, 29.
Ehrenberg (Prof.), foraminifères siluriens, II, 194.
—, infusoires, I, 43.
—, minerai de fer des marais, I, 43.
Eifel (volcans de l'), II, 342 à 352.
Éléphants (lit à), Brighton, I, 444.
Elephas primigenius (dent de), I, 265.
Elgin (reptile du vieux grès rouge trouvé près d'), II, 147.
Elvans, d'Irlande et du Cornouailles, II, 402.
—, explication de ce mot, II, 411.
Empreintes fossiles, II, 29, 31, 32.
— de pas d'oiseaux, II, 47.
— de reptiles, II, 32, 46, 125, 126, 148.
Encrine, de Pradford, I, 472.
— supportant des serpules et des bryozoaires, I, 472.
Encrine-poire, Bradford-clay, I, 471.
Encrinus liliiformis, II, 27.
Eocène, (définition du mot), I, 187.
— (granit), II, 404.
— supérieur, près Louvain, Belgique, I, 361.
Eocènes, (couches), en France, I, 340, 349.
—, —, aux États-Unis, I, 363.
— (foraminifères), I, 356.
— (formations), I, 329.
— — en Angleterre, I, 339.
— (roches volcaniques), II, 366.
Eppelsheim, (*Dinotherium* d'), I, 289, 305.
Equisétacées de la période houillère, II, 72.
Equisetites columnaris, II, 26.
Equisetum, de l'oolite de Virginie, II, 21.
— *giganteum*, de l'Amérique du Sud, récent, II, 73.
Equus caballus (dent de), I, 267.
Erman, sur le fer météorique de Russie, I, 243.
Étrétat (falaises d'), Alpins, I, 236.
— (origine septentrionale des), I, 208.
Escharа dietichs, craie, I, 369.
Escharina Oceani, craie, I, 388.
Escher (M.), blocs de transport du Jura, I, 241.
Espagne (volcans en), I, 10; II, 332.
Estheria ? à Richmond, États-Unis, 22.
Etain (filons d'), en Cornouailles, II, 477, 489.
États-Unis, (bassin houiller des), II, 109.
—, couches devoniennes, II, 167.
—, couches éocènes, I, 363.
—, couches siluriennes, II, 194.
—, formation crétacée, I, 395.
—, formations vieux pliocène et miocène, I, 289.
—, oolite et lias II, 29.
—, roches devoniennes, II, 167.
Etna (dépôts de l'), II, 318.
Eumenia radiata, I, 471.
Euomphalus pentangulatus, II, 139.
Euphotide, II, 241.
Eurite, II, 385, 426.
Extracrinus Briareus, lias, II, 5.

Faille, explication de ce mot, I, 98.
— (origine des), I, 102.
Falaises intérieures dans le sud de l'Angleterre, I, 115.
Falconer (D.), sur les collines Sewâlik, I, 292.
Falkland (îles), I, 142.
Falunien (type), sa différence avec l'Éocène, I, 287.
Faluns, comparaison des falans et du crag, I, 264.
— de Touraine, I, 179, 281.
Farnham (phosphate de chaux près de), I, 392.
Fascicularia aurantium, I, 274.
Favosites gothlandica, II, 181; *F. polymorpha*, II, 182.
Faxoe (craie de), I, 374.
Feldspath (variétés de), II, 224.
Felis tigris (dent de), I, 268.
Félixstow (débris de cétacés trouvés près de), I, 277.
Fenestella retiformis, II, 55.
Fentes remplies de matière métallique, II, 478. (Voyez Veines minérales.)
Fer, minerai de fer des marais, I, 43.
Feuilletage des roches, définition du mot, II, 154.
Fife, (dyke de trapp dans le comté de), II, 374.
— (roches altérées du comté de), II, 235.
Filons (voyez Veines minérales), II, 478.
Fitton (D.), cité, I, 404, 424, 459, 468.
—, couches crétacées inférieures, I, 400.
Fleming (D.), dyke de trapp dans le Fifeshire, II, 374.
—, roches trappéennes dans le bassin houiller de Forth, II, 371.
Flore, carbonifère, II, 68.
— crétacée, I, 412.
— de l'argile de Londres, I, 341.
— permienne, II, 61.
Flots, explication de ce mot, I, 147.
Flysch, explication de ce mot, I, 361.
Fontainebleau (Grès de), I, 295, 310.
Foraminifères, de la craie, I, 44.
— paléozoïques, II, 142, 194.
— tertiaires, I, 287, 340, 357, 361, 362.
Forbes (Prof. E.), coquilles des dépôts de crag, I, 276.
—, coquilles fossiles crétacées, I, 396.
—, couches d'Atherfield, I, 400.
—, cystidées, II, 188.
—, échinodermes du crag coralline, I, 276.
—, fossiles des Faluns, I, 288.
—, — du terrain de transport dans le sud de l'Irlande, I, 221.
—, grès de Caradoc, II, 185.

Forbes, les couches siluriennes se sont déposées en haute mer, II, 211.
—, limon jaune de la période de transport, I, 212.
—, lit à feuilles de Mull, I, 289.
—, lits d'Hempstead, série de l'île de Wight, I, 297, 307.
—, migration des mollusques durant la période glaciaire, I, 276.
—, profondeurs auxquelles atteint la vie organique dans la mer Egée, I, 58, 230.
—, provinces géographiques, I, 398.
—, roches volcaniques de la période oolitique, II, 371.
—, série de Bembridge, I, 297, 300.
—, sur les fossiles du Purbeck, I, 453, 456, 462.
Forbes (M. D.), sur le feuilletage des roches, II, 454.
Forbes (Prof. James), sur les Alpes, I, 342.
—, zones de la glace des glaciers, II, 452.
Forchhammer, sur un calcaire strié, I, 295.
Forest-marble de l'oolite, I, 470.
Forêt fossile, dans la Nouvelle-Ecosse, II, 92.
— dans le Norfolk, I, 215, 219.
— dans l'île de Portland, I, 459.
— près de Wolverhampton, II, 89.
Forfarshire (vieux grès rouge dans le), II, 440.
Formation, définition de ce mot, I, 4.
— de transport, au Canada, I, 225.
— —, en Angleterre, I, 204, 220.
— — (ingrédients minéraux de la), I, 227.
— — (période de la), sa forme particulière, I, 212.
Fossile, définition de ce mot, I, 6.
Fossiles, de la craie et du Groensand, I, 384, 388.
—, caractère de l'âge des formations, I, 158.
— d'eau douce et marins, I, 45.
— de la craie de Faxoe, I, 374.
— de la formation de Ludlow, II, 179.
— de l'argile de Londres, I, 345.
— de l'île de Wight, I, 331.
— de l'oolite, I, 413, 465, 474.
— de Solenhofen, I, 466.
— des couches de Maëstricht, I, 372.
— des couches de Richmond (Etats-Unis), II, 22.
— des couches éocènes aux Etats-Unis, I, 368, 365.
— des falens de Touraine, I, 281.
— des lits de Connecticut, II, 50.
— du calcaire de montagne, I, 324.
— du calcaire Permien, II, 56, 57, etc.
— du crag coralin, I, 274.
— du crag rouge, I, 273.
— du grès vert inférieur, I, 402.
— du lias, II, 4, 16, 17.
— du nouveau grès rouge, II, 26 et suiv.
— du Purbeck, I, 453.
— du système Devonien, II, 160.
— du Weald, I, 407.
Fossiles, leur distribution dans les couches, I, 7, 8, 35.
— (pétrification des), I, 65 à 71.
Fossilifères (couches), (tableau des), II, 213.
Fougères, arborescentes, dans la formation permienne, II, 61.
— dans les couches houillères, II, 68.
— fossiles du schiste carboneux; I, 462.
— récentes, II, 70.
Fournet (M.), désagrégation des roches, II, 434.
—, filons d'Auvergne, II, 484.
—, sur le quartz, II, 382.
Fox (M. R. W.), II, 489.
—, filons du Cornouailles, II, 490.
Fox (Rev.), quadrupèdes éteints de l'île de Wight, I, 332.
Franco centrale (Éocène supérieur de la), I, 310.
Fucus vesiculosus, I, 53, 380.
Fulgur canaliculatus, I, 291.
Fuller's earth de l'oolite, I, 482.
Fundy (empreintes sur le limon rouge de la baie de), II, 46.
Fungia patellaris (récente), II, 134.
Fusulina cylindrica, II, 142.
Fusus contrarius, II, 273.

Galapagos (îles), (animaux des), II, 12.
Galeocerdo latidens (dent de), I, 340.
Galerites albogalerus, I, 384.
Galets. Voyez Cailloux roulés.
Galles (anciens glaciers des), I, 290.
Gallonella distans, *G. ferruginea*, dans le tripoli, I, 41.
Gange (sols enfouis dans le delta du), II, 194.
Gault du crétacé supérieur, I, 394.
Gavarnie (flexions de couches près de), I, 95.
Gaz (roches altérées sous terre par les), II, 434.
Géologie, sa définition, I, 1.
Gergovia (colline de), II, 369.
Gervillia anceps, grès vert inférieur, I, 403.
Gibbes (R. W.), cité, I, 365.
Girgenti (calcaire de), I, 252.
Glace (roches transportées par la), I, 205.
Glaces flottantes, I, 218, 231.
— (volume de), I, 207.
Glaciaire, origine du phénomène glaciaire du Nord, I, 223.
Glaciers, des Alpes, I, 236.
— des montagnes du Caernarvon, I, 290.
Glasgow (couches marines près de), I, 249.
Glenroy (*parallel roads* de), I, 138.
Glen Tilt (granit de), II, 389.
Glyphæa? dubia, couches houillères, II, 106.
Gneiss, altéré par le granit, II, 393.
— au cap Wrath, II, 390.
— dans les Alpes Bernoises, II, 441.
— près de Christiania, II, 393.

Gneiss, sa description, II, 422.
Goldfuss (Prof.), reptile d'un bassin houiller, II, 123.
Goniatites crenistria, G. evolutus, II, 140 ; *G. Lysteri*, II, 108.
Göppert (Prof.), couches houillères, II, 68.
—, sur la pétrification, I, 67.
Gorgonia infundibuliformis, II, 55.
Graham (île), II, 265, 329.
Grampians (conglomérats du vieux grès rouge dans les), I, 77.
Grande oolite (ou de Bath), I, 471.
Granit, des Alpes suisses, II, 464.
— du Cornouailles et de Dartmoor, II, 431.
— en dykes au mont Battock, II, 390.
—, en Saxe, II, 415.
— en veines, à la Montagne de la Table, II, 390.
— — au cap Wrath, II, 391.
— — dans le Cornouailles, II, 392.
— — dans les montagnes Blanches, II, 401.
— et calcaire, leur jonction en Glen Tilt, II, 388.
— le plus ancien, II, 414.
—, passage au trapp, II, 385.
— porphyritique, II, 383.
— près de Christiania, II, 411.
—, sa description, I, 2 ; II, 378.
— syénitique, talqueux et tourmalinifère, II, 385.
— (variétés de), II, 391.
Granitiques (roches) en rapport avec les filons, II, 495.
Graphique (granit), II, 381.
Graphite (poussière de), consolidée par la pression, I, 62.
Graptolites, II, 191.
Graptolithus Ludensis, silurien, II, 183.
Grateloup (M.), fossiles de la craie, I, 395.
Grauwacke, explication de ce mot, II, 172.
Greensburg, Pennsylvanie, (empreintes de pas de reptile, dans les couches houillères de), II, 125.
Greenstone, II, 232.
— (dyke de), à Arran, II, 248.
Grenat, dans des roches altérées, II, 253.
Grès, à crevasses, dans le Weald, I, 409.
— de Beauchamp, bassin de Paris, I, 355.
— inférieur, I, 399.
— rouge, son origine, II, 39.
— supérieur, I, 390.
— vert, ses fossiles, I. 391.
— vert supérieur, I, 390.
Greystone, roche volcanique, II, 242.
Griffiths (M.), géologie de l'Irlande, II, 66.
Grignon (coquilles fossiles près de), I, 356.
Grit (grès), sa définition, I, 18.
Groenland (abaissement de la côte du), I, 76.
Gryllacris lithanthraca (aile de), II, 107.
Gryphée, recouverte de serpules, I, 37.
Gryphées (calcaire à), ou lias, II, 3.
Gryphæa arcuata, G. incurva, I, 47, 319.
Gryph. columba, G. globosa, I, 386 ; *G. virgula*, I, 465.
Guadeloupe (squelette humain de la), I, 194.
Guthier (Colon. von), flore Permienne, II, 61.
Gypse, sa définition, I, 22.
Gypseuses (marnes éocènes), I, 351.
Gyrolepis tenuistriatus (écaille de), II, 30.

Hall (sir James), expériences sur minéraux en fusion, II, 326.
—, sur les couches contournées, I, 80.
Hall (Cap. B.), cité, II, 247, 319, 390.
Halysites catenulatus, silurien, II, 181.
Hamites spiniger, gault, I, 394.
Harris (Major), lac salé d'Ethiopie, II, 43.
Hartung (M.G.), sur Madère, II, 305 ; II, 311.
—, sur Ténériffe, II, 298.
Hartz (bunter-sandstein du), II, 28.
Hastings (Lady), sa collection de fossiles, I, 335.
Hastings Sands, I, 407, 409.
Hautes-Alpes (roches des), II, 409.
Hauy, cité, II, 225.
Hawkshaw (M.), arbres fossiles de la houille, II, 80.
Hayes (M. T. L.), glaces flottantes, I, 207.
Headon, (colline de), description de ses sables, I, 335.
— (série de), dans l'île de Wight, sa description, I, 333.
Hébert (M.), âge des couches de Klein Spawen, I, 296.
—, calcaire pisolitique, I, 370.
—, couches de l'éocène supérieur, I, 296.
Hébrides (dykes de trapp aux). II, 249.
Heidelberg (variétés de granit près de), II, 391.
Heliolites porosa, II, 162.
Helix labyrinthica, I, 334 ; *H. occlusa*, I, 331 ; *H. plebeia*, I, 201 ; *H. Turonensis*, I, 49.
Hemicidaris Purbeckensis, I, 455.
Hemipneustes radiatus, I, 374.
Hemitelites Brownii, I, 482.
Hempstead (lits de), île de Wight, I, 297, 307.
Henfrey (M. A.), nourriture du Mastodonte, I, 232.
Henslow (Prof.), cétacés fossiles du Suffolk, I, 277.
—, forêts fossiles, I, 459.
—, roche altérée près de Plas Newydd, II, 252.
Herschell (sir J.),sur le clivage schisteux, II, 447.
Hertfordshire (poudingue du), I, 58.
Hesse-Cassel (sables de), I, 298.
Hétérocerque (poisson) (queue de), II, 57.
Hibbert (Dr), bassin houiller de Burdiehouse, II, 107.
—, roches volcaniques, II, 349, 365.

High-Teesdale (grenats dans une roche altérée, à), II, 253.
Hildburghausen (empreintes de pas de reptile à), II, 29, 32.
Himalaya, mammifères tertiaires, I, 292.
—, roches fossilifères, I, 6.
Hippopodium ponderosum, lias, II, 3.
Hippopotamus (dent de), I, 266.
Hippurites (calcaire à), I, 394.
Hippurites organisans, craie, I, 394.
Hitchcock (Prof.), empreintes fossiles de pas, II, 46.
Hoffmann (M.), caverne près de Palerme, I, 120.
—, îles Lipari, II, 434.
—, marbre de Carrare, II, 462.
—, roches volcaniques, II, 352.
Holoptychius nobilissimus (écaille de), II, 150.
Hol. Hibberti (dent de), II, 123.
Homalonotus armatus, II, 166.
Hom. delphinocephalus, II, 183.
Homocerque (poisson) (queue de), II, 57.
Hongrie, trachyte, II, 387.
Hooghley, rivière (analyse de l'eau de la), I, 68.
Hopkins (M.), fractures du Weald, I, 432.
Horizontales (couches) exhaussées, I, 74.
Horizontalité, des couches, I, 26.
— des *roads* (gradins) de Lochaber, I, 3.
Hornblende, II, 225.
— (roche de), ou amphibolite, II, 240, 426.
Hornblende-schiste (schiste amphibolique), II, 423, 437.
Horner (M.), géologie de l'Eifel, II, 344.
—, sur l'*Holoptychius*., II, 123.
Hornes (D^r), coquilles du bassin tertiaire de Vienne, I, 286.
Houille, II, 64, 66.
— à Brownsville, Pennsylvanie (vue de la), —II, 118.
— (climat de la période de la), II, 121.
— (continuité de couches de), II, 120.
— de la Nouvelle-Écosse, temps qu'a dû requérir son accumulation, II, 102.
— (empreintes de pas de reptile sur des couches de), II, 125.
—, flexions en zigzag près de Mons, I, 86.
— (insectes dans la), II, 107.
— (mine de) près Lyon, II, 89.
— oolitique, à Brora, I, 482.
—, sa conversion en lignite, II, 119.
—, sa formation, II, 85.
Hubbard (Prof.), veines granitiques dans les montagnes Blanches, II, 401.
Hugi (M.), sur les Alpes suisses, II, 466.
Huîtres (lits d'), I, 347.
Humboldt (de), caractère uniforme de certaines roches, II, 469.
Hunt (M.), expériences sur le minerai de fer argileux, II, 108.
Hutton (opinions de), I, 96.
Huttonienne (théorie), I, 149.
Hyæna spelæa (dent de), I, 268.
Hybodus reticulatus (dent et rayon de), II, 7.
Hyb. plicatilis (dent de), II, 30.
Hymenocaris vermicauda, II, 201.
Hypersthène (roche d'), II, 243.
Hypogène, définition de ce mot, I, 16.
— ou métamorphique (calcaire), II, 425.
Hypogènes (roches), (caractère minéral des), II, 469.

Ibbetson (Capit.), craie de l'île de Wight, I, 390.
Ichthyolites du vieux grès rouge, II, 156.
Ichthyosaurus communis, (nageoire de), II, 10.
— (squelette de), II, 9.
Ignées (roches), I, 10.
— des Siebengebirge et du Westerwald, II, 344.
— du Val di Noto, II, 264.
Iguanodon Mantellii (dent de), I, 406.
Iguanodon (notice sur l'), I, 405, 407.
Ile de Wight (lits d'eau douce de l'), I, 334.
Inde, dépôts d'eau douce, I, 292.
—, formation oolitique, II, 23.
—, système crétacé, I, 398.
Induses (calcaire à), Auvergne, I, 318.
Infusoires dans le tripoli, I, 41.
Inoceramus Lamarckii, craie, I, 386.
Insecte, aile de névroptère, II, 16.
— dans le lias, II, 16.
— dans le terrain houiller, II, 107.
— dans les lits de Purbeck, I, 464.
— dans l'oolite, I, 476.
Invertébrés (période des), II, 209.
Irlande, couches houillères, II, 66.
—, plantes Devoniennes, II, 149.
—, terrain de transport, I, 221.
Isastrea oblonga, *I. Tieburiensis*, I, 464.
Ischia, (cônes volcaniques à), II, 322.
—, couches post-pliocènes, I, 190.
Islande (glaçons transportés à l'), I, 231.
Isomorphisme (théorie de l'), II, 227.

Jackson (D. C. T.), analyse d'os fossiles, I, 233.
James (Capit), fossiles du terrain de transport dans l'Irlande méridionale, I, 221.
Java, eau sulfureuse, I, 352.
—, volcans, II, 271.
Jobert (M.), colline de Gergovia, II, 368.
Joints, II, 445.
Jorullo, courant de lave, II, 402.
Junghuhn (D.), volcans de Java, II, 272.
Jura, (blocs alpins sur le), I, 240.
— (calcaire du), I, 468.
— (structure du), I, 89.
Jura suisse (structure du) I, 89.

Kangouroo fossile et vivant (figures de mâchoires de), I, 262.

Kaup (Prof.), empreintes fossiles de pas de *Cheirotherium*, II, 34.
Kaye (M.), fossiles de l'Inde méridionale, I, 398.
Keeling (île), (fragment de greenstone dans l'), I, 380.
Keilhau (Prof.), cité, II, 412, 430.
—, gneiss près de Christiania, II, 394.
—, sur le feuilletage des roches, II, 4 5
—, sur le granit, II, 396.
Kelloway (roche de), I, 57.
Kent (craie de), I, 133.
— (rag de, *Kentish rag*), grès vert inférieur, I, 400.
Keuper, II, 25.
Kilauea (cratère volcanique de), II, 368.
Kilkenny (plantes fossiles du grès jaune de), II, 149.
Filles dans le granit du Cornouailles, II, 431.
Kimmeridge clay, I, 465.
King (D.), empreintes fossiles de pas d'un reptile, II, 125.
King (Prof.), groupe Permien et ses fossiles, II, 53.
Kirkdale (caverne de), 258.
Koninck (M. de), cité, I, 296, 302.
—, étages tertiaires de Kleyn-Spawen, II, 296.
Kyson en Suffolk (couches de), I, 344.

La Bèche (Sir H. de), cité, I, 460 ; II, 15.
—, arbres fossiles de la Galles du Sud, II, 87.
—, couches houillères des environs de Swansea, II, 67.
—, granit de Dartmoor, II, 431.
—, lits argileux, II, 18.
—, minerai de fer argileux, II, 106.
—, sur le marbre de Carrare, II, 468.
—, sur le mot « supracrétacés », I, 467.
—, sur le trapp de la période du nouveau grès rouge, II, 371.
—, veines minérales, II, 483, 485, 492.
Labyrinthodon Jægeri (dent de), II, 34, 35.
Labyr. pachygnathus (contour du), II, 35.
Lacs (dépôts des), I, 4.
Lacustre (cratère) de Laach, II, 350.
Lacustres, (couches), d'Auvergne, I, 322.
— (cratères) de l'Eifel, II, 347.
Lagonis, à l'embouchure des rivières, I, 53.
— des îles Bermudes, I, 377.
Lamarck, mollusques bivalves, I, 47.
Lamna elegans (dent de), éocène, I, 340.
Landénien, ou lits de l'éocène inférieur, I, 369.
La Roche Saint-Bernard (estuaire de), I, 24.
Latérite, II, 239, 242.
Lave, II, 236.
— (courant de) à Madère, vue du courant, II, 311.
— à Stromboli, II, 402.
— du Jorullo, II, 402.
— en Auvergne, II, 357.
— ses effets, I, 10.
Lave, ses rapports au trapp, II, 262.
Lea (M.), découverte d'empreintes fossiles de pas de reptiles, II, 128.
Leda amygdaloides, I, 344 ; *L. Deshayesiana*, I, 302 ; *L. oblonga*, I, 211.
Lehman, classification des roches, I, 146.
Leibnitz (théorie de), I, 152.
Leidy (D.), cétacés supposés de la craie, I, 396.
Lepidodendra, II, 71.
Lepidodendron Sternbergii, II, 71.
Lepidodendron (tige de), Irlande, II, 149.
Lepidostrobus ornatus, II, 72.
Lepidotus gigas (écailles de), II, 6.
Lepid. Mantelli (dent et écaille de), I, 402.
Leptæna Moorei, II, 3.
Leptinite, ou Whitestone, II, 385.
Lewes (combe près de), I, 428.
Lias, II, 1.
— à Lyme Regis, II, 11.
— aux États-Unis, II, 20.
— et oolite, leur origine, II, 18.
— (roches plutoniques du), II, 409.
— (roches volcaniques de la période du), II, 370.
—, végétaux fossiles, II, 17.
Liebig (Prof.), conservation des ossements fossiles des cavernes, I, 260.
—, conversion de houille en lignite, II, 119.
Ligne anticlinale, I, 79, 92.
Lignite d'Allemagne (âge du), I, 306.
Lima (Amér. du Sud), couches récentes, I, 194.
Lima gigantea, II, 3 ; *L. Hoperi*, I, 386.
Limagne d'Auvergne (formations d'eau douce de la), I, 314.
Limbourg, ou couches éocènes supérieures de Belgique, I, 301.
Limulus rotundatus, terrain houiller, II, 106.
Lindley (D.), cité, I, 442.
Lingula Davisii, II, 201 ; *L. Dumortieri*, I, 277 ; *L. Levisii*, II, 178.
Lingula flags (schistes de ce nom), du Silurien inférieur, II, 201.
Lipari (îles), roches altérées par les gaz, II, 434.
Lit à feuillès, à Madère, II, 305.
— miocène, de l'île de Mull, I, 287.
Lit à ossements, contient ordinairement des cailloux roulés, II, 210.
— à ossements de poissons, en Armagh, II, 142.
— silurien, II, 175.
Lit de boue (Dirt-bed) de Purbeck, I, p. 458, 464.
Lithodomes, de falaises intérieures, I, 121.
— des baies du nord de l'Amérique, I, 125.
Lithostrotion basaltiforme, *L. floriforme*, *L. striatum*, II, 135.
Lituites giganteus, silurien, II, 180.
Llandeilo flags (ardoises de ce nom), II, 187.
Lehm (voyez Loess).
Loam (voyez Loess).

Lochaber (*parallel roads* de), I, 138.
Loess, nom donné à certain limon diluvien, I, 21.
— (coquilles terrestres fossiles du), figurées, I, 201.
— de la vallée du Rhin, I, 197.
Logan (M.), empreintes de pas sur le grès de Potsdam, II, 207.
—, forêt fossile dans la Nouvelle-Écosse, II, 93.
—, roches siluriennes inférieures du Canada, II, 197.
—, terrain houiller de la Galles du Sud, II, 67.
Lonsdalcia floriformis, carbonifère, II, 135.
Lonsdale (M.), cité, I, 255.
—, coraux, I, 291.
—, coraux de Normandie, I, 284.
—, fossiles de la craie blanche, I, 43.
—, schiste de Stonesfield, I, 475.
—, vieux grès rouge du Devon méridional, II, 158.
Louvain (couches éocènes près de), I, 301.
Loven, coquilles de Norwége, I, 193.
Lucina serrata, éocène, I, 341.
Ludlow (formation de), II, 174.
Lund (M.), cité, I, 264.
Lycett (M.), coquilles de l'oolite, I, 475.
Lycopodium densum (récent), II, 71.
Lym-fiord, avançant dans la mer, I, 380.
— envahi par la mer, I, 53.
Lyme-Regis (lias de), II, 15.
Lymnæa caudata, I, 334 ; *L. longiscata*, I, 47, 332.
Lyon (mine de houille près de), II, 89.

Macacus (dent de), éocène, I. 345.
Mac-Culloch (D.), âge du granit d'Arran, II, 418.
—, colonnes basaltiques à Skye, II, 257.
—, dyke de Greenstone, II, 249.
—, granit du comté d'Aberdeen, II, 387.
—, île de Skye, I, 59.
—, *parallel roads*, I, 140.
—, roches altérées dans le Fifeshire, II, 255.
—, roches ignées d'Ecosse, II, 266.
—, roches sus-jacentes, I, 12.
—, schiste à hornblende, II, 437.
—, sur la dénudation, I, 108.
—, veine de trapp du comté d'Argyle, II, 246.
Maclurea Logani, silurien, II, 198.
Maclure (D.), volcans de Catalogne, II, 333.
Maclaren (M.), blocs erratiques des Pentlands, I, 212.
Macropus atlas, I, 261.
— (dent de), I, 262.
— (mâchoire de), I, 261.
Macropus major (récent), (mâchoire de) I, 262.
Madère, (structure de), II, 301, 311.
— (trachyte surmontant le basalte à), II, 317.
— (vue d'un dyke dans la vallée intérieure de), II, 247.
Maestricht (lits de), 372.
Magnésien (calcaire), sa définition, I, 21.
—, ses groupes, II, 52.
— (structure concrétionnée du), I, 61.
Maidstone (fossiles dans la craie blanche de), I, 390.
Mammat (M.), cité, I, 111.
Mammifère, de l'oolite de Stonesfield, I, 476.
— (dent fossile de), I, 268.
— des lits du Purbeck, I, 456 ; II, 215.
— du trias des environs de Stuttgart, II, 36.
Mammifères éteints, du bassin du Mississipi, I, 196.
— du terrain de transport aux Etats-Unis, I, 231.
Mammouth (dent de), I, 265.
M'Andrew (M.), rareté des os de poissons au fond de la mer, II, 211.
Mansfeld en Thuringe (formation permienne au), II, 60.
Mantell (D.), cité, I, 380, 407, 409, 442.
—, couches d'eau douce de l'île de Wight, I, 332.
—, groupe wealdien, I, 408, 442.
—, lit à éléphants de Brighton, I, 444.
—, reptile du vieux grès rouge, II, 147.
—, silex de la craie, I, 442.
—, sur la bélemnite, I, 470.
—, sur l'Iguanodon, I, 406.
Mantellia megalophylla, Purbeck, I, 458.
Marbre, sa définition, I, 20.
Marines (falaises) intérieures, I, 115.
Marne, sa définition, I, 21.
— au lac Supérieur, I, 59.
— rouge et verte en Angleterre, II, 29.
— schisteuse, sa définition, I, 21.
Marsupites Milleri, craie, I, 384.
Martin (M.), cité, I, 432.
—, fractures croisées de la craie, I, 425.
Martins (M. Ch.), glaciers du Spitzberg, I, 230.
Massachusets (plombagine au), II, 437.
Mastodon augustidens (dent de), I, 266.
Mast. giganteus aux Etats-Unis, I, 231.
Mastodonsaurus (dent de), II, 33.
May (colline de), couches siluriennes, II, 176.
Mayence (terrain tertiaire du bassin de), I, 304.
Méditerranée (dépôts en voie de formation dans la), I, 162.
Méditerranée et mer Rouge, espèces différentes dans les deux mers, I, 162.
Megalodon cucullatus, II, 163.
Megatherium (dent de), Amérique méridionale), I, 268.
Melania inquinata, I, 48, 347 ; *M. turritissima*, I, 331.
Melanopsis buccinoides (récente), I, 48.
Mélaphyre, ou porphyre noir, 242.
Menai Straits (coquilles marines dans le transport de), I, 220.
Mendips, dénudation dans ces îles, I, 109.
Mer Rouge et Méditerranée, espèces différent dans ces deux mers, I, 164.

Mer Rouge, sa salure, II, 44.
Mersey, dans le Kent, (ancien lit de la), I, 194.
Métallifères (veines). Voyez Veines minérales.
Métamorphique (structure), son origine, II, 436.
Métamorphiques (roches), II, 421.
—, elles sont moins calcaires que les roches fossilifères, II, 470.
— (glossaire des), II, 426.
—, leur définition, I, 12.
—, leur ordre de succession, II, 466.
—, leur origine, II, 427.
Métaux (âge relatif supposé des), II, 491.
Météorites dans le terrain de transport, I, 243.
Mexico (division laminaire des roches volcaniques à), II, 452.
Meyer (M. H. von), cité, I, 248.
—, grès des Vosges, II, 28.
—, sur un reptile du terrain houiller, II, 123.
—, wealdien de Hanovre et de Westphalie, I, 410.
Micacé (grès), (origine du), I, 24.
Micaschiste, II, 424.
Micraster coranguinum, craie, I, 384.
Microconchus carbonarius, carbonifère, II, 105.
Microlestes antiquus, mammifère triasique, (dent de), II, 37.
Miller (M. H.), arbres fossiles de la houille près d'Edimbourg, II, 92.
—, origine du sel gemme, II, 42.
—, vieux grès rouge, II, 156.
Minchinhampton (coquilles fossiles à), I, 474.
Minerai de fer argileux, II, 108.
Minéral (caractère) des roches aqueuses, I, 17, 157.
Minérale (composition), caractère de l'âge des roches volcaniques, II, 316.
Minérales (sources), leur rapport avec les veines minérales, II, 488.
Minérales (veines), (cailloux roulés dans les), II, 481.
— de différents âges, II, 477.
— (diverses formes de), II, 476.
— et failles, II, 474, 477.
— près du granit, II, 484.
Minéralisation des débris organiques, I, 63.
Minéraux, tableau d'analyses des minéraux simples, II, 245.
Miocène, définition du mot, I, 187.
— aux États-Unis, I, 289.
— dans l'île de Mull, I, 287.
— du Bolderberg, I, 286.
— (formation), I, 280.
— — inférieure de l'île de Wight, I, 297.
— (période), (roches volcaniques de la), II, 342.
Miocènes, (faluns), de la Loire, I, 281.
— (mammifères) des collines Sewâlik, I, 292.
Mississipi (couches fluviales et delta du), I, 4, 196, 198.
Mitchell (Sir T.), cavernes d'Australie, I, 261.
Mitra scabra, argile de Barton, I, 337.
Mitscherlich (Prof.), sur l'augite et le hornblende), II, 226.
—, composition minérale de la Somma, II, 324.
Modiola acuminata, Permien, II, 53.
Modon (lithodomes de la falaise de), I, 118.
Mollasse de Suisse, I, 287.
Mons (flexions de la houille à), I, 86.
Montagne (calcaire de), ses fossiles, II, 133.
Montagne de la Table, couches horizontales, I, 74.
Montagnes blanches (granit en veine aux), II, 401.
Mont-Blanc (granit talqueux du), II, 405.
Mont-Dor (Auvergne), II, 355.
Moraine, explication de ce mot, I, 207.
Moraines des glaciers, I, 237.
Morée, (falaises marines, intérieures en), I, 117.
— (trapp de), II, 370.
Morris (M.), fossiles à Brentford, I, 247.
Morton (D.), roches crétacées, I, 395.
Morven (colonnes basaltiques dans le), II, 257.
Mosasaurus Camperi (mâchoires de), Maestricht, I, 373.
Mull (île de), lit à feuilles, miocène, I, 287.
Münster (Comte), fossiles de Solenhofen, I, 466.
Murchisonia gracilis, Silurien, II, 198.
Murchison (Sir R.), cité, I, 430, 444.
—, âge de l'or en Russie, II, 494.
—, âge des Alpes, I, 363.
—, Alpes de la Suisse, II, 466.
—, blocs erratiques des Alpes, I, 243.
—, couches primaires de Russie, I, 209.
—, couches siluriennes de Shropshire, II, 375.
—, du mot Permien, II, 52.
—, du mot Silurien, II, 173.
—, gneiss éocène, II, 441.
—, joints et clivage, II, 445.
—, nouveau grès rouge, II, 30.
—, roches volcaniques d'Italie, II, 331.
—, sur le granit, II, 411, 415.
—, sur le *Pentamerus*, II, 178.
—, sur les tilestones, II, 174.
—, vieux grès rouge du Sud-Devon, II, 158, 161.
Murex alveolatus, crag rouge, I. 273.
Muschelkalk, II, 26.
Mylliobates Edwardsi (dent de), Bracklesham, I, 339.
Mytilus septifer, Permien, II, 53.

Nagelfluh, ou conglomérat des Alpes, I, 287.
Naples (couches récentes près de), I, 190.
—, exhaussement du sol, I, 191.
— (formations post-pliocènes des environs de), II, 322.
Nassa granulata, crag rouge, I, 273.
Natica clausa, I, 211; *N. helicoïdes*, I, 250.
Natica (récente), frai de, II, 154.
Nautilus centralis, *N. siczac*, I, 344; *N. danicus*, I, 374; *N. plicatus*, I, 402; *N. truncatus*, II, 4.

Navarin (lithodomes dans les rochers de), I, 118.
Nebraska (États-Unis), éocène supérieur, I, 327.
Necker (M. J. A.), Alpes de la Suisse, II, 466.
—, cité, II, 394.
—, composition du cône de la Somma, II, 325.
—, granit d'Arran, II, 417.
—, mots « granit sous-jacent », I, 12.
—, roches granitiques, II, 396.
Nelson (Capit.), craie de l'île Bermude, I, 377.
—, vue de l'île Bermude, I, 126.
Néocomien, ou crétacé inférieur, I, 399.
Néozoïque (type) de coraux, II, 133.
Neptunienne (théorie), I, 148.
Nerinæa Goodhallii, *N. hieroglyphica*, I, 468.
Nerita conoidea, *N. Schemideliana*, I, 358; *N. costulata*, I, 475; *N. granulosa*, I, 48.
Neritina concava, I, 334; *N. globulus*, I, 48.
Newcastle, (arbre fossile près de), I, 481.
— (grandes failles dans le bassin houiller de), I, 102.
New-Jersey, (couches crétacées du), I, 396.
— (*Mastodon giganteus* du), I, 232.
New-York, couches devoniennes, II, 167.
—, couches siluriennes, II, 194.
Niagara, (calcaire du), ses fossiles siluriens, II, 195.
— (coquilles récentes dans la vallée du), I, 233.
Nipadites ellipticus, I, 342.
Nodosaria, craie, I, 44.
Noeggerathia cuneifolia, II, 62.
Noeggerath (M.), cité, II, 344.
Nomenclature (changements de), I, 150.
Norfolk, forêt souterraine, I, 215, 219, 248.
—, terrain de transport, I, 213.
Normandie, falaises et aiguilles de craie, I, 419.
Northwich, (couches de sel à), II, 41.
— (crag de), fluvio-marin, I, 250.
— (*Sandpipes*, près de), I, 132.
Nouveau grès rouge, aux États-Unis, II, 45.
—, sa différence avec le vieux grès rouge, II, 24.
—, ses sous-divisions, II, 25.
— (trapp du), II, 371.
Nouvelle-Écosse, couches de houille du cap Breton, II, 98.
—, forêt fossile de la houille, II, 95.
Nouvelle-Zélande, absence de quadrupèdes, I, 265.
Nucula Cobboldiæ, I, 250; *N. Deshayesiana*, I, 302.
Nummulites exponens, I, 362; *N. lævigata*, I, 339; *N. Puschi*, I, 361.
Nummulites, se rencontrent-elles dans l'éocène supérieur? I, 303.
Nummulitique (formation), I, 359.
Nyst (M.), cité, I, 302.

Obolus Apollinis, Russie, II, 194.
Œchmodus (écailles et contour d'), II, 6.
Œpiornis de Madagascar, II, 49.
Œufs, corps analogues à des œufs, dans le vieux grès rouge, II, 154.
— fossiles de serpent, I, 208.
Œynhausen (M. von), sur les veines de granit du Cornouailles, II, 392.
Ohio (récif de corail, Devonien, aux chutes de l'), II, 169.
Oiseaux, (os d'), dans l'éocène inférieur, II, 216.
—, empreintes de pas, II, 46.
— fossiles, leur rareté, II, 216.
Oldhamia antiqua, *O. radiata*, II, 202.
Olenus micrurus, Cambrien, II, 201.
Oliva Dufrenoi? miocène, I, 286.
Olot (volcans éteints près d'), II, 333.
Omphyma turbinatum, Wenlock, II, 181.
Onchus tenuistriatus, Silurien, II, 176.
Ondulations, comment elles se produisent, I, 31.
Oolite, I, 450, 451.
—, définition de ce mot, I, 20.
— en France, I, 453.
— et lias, leur origine, II, 18.
— inférieure, I, 483.
— —, ses fossiles, I, 483.
— (roches plutoniques de l'), II, 409.
— (roches volcaniques de l'), II, 370.
Oolitique (groupe), aux États-Unis, II, 20.
— en France, I, 452, 466.
Ophioderma Egertoni, lias, II, 5.
Ophite et ophiolite, II, 242.
Opossum (portion de mâchoire d'), I, 345.
Orbigny (M. d'), cité, I, 394.
—, foraminifères du bassin de Vienne, I, 286.
—, fossiles du calcaire nummulitique, I, 366.
—, sous-divisions de la série crétacée, I, 372.
Organiques (débris), critérium de l'âge des formations, I, 159.
—, critérium de l'âge des roches volcaniques, II, 316.
Ormerod (M.), sur le trias du Cheshire, II, 41.
Or, son âge dans les monts Ourals, 494.
—, son âge en Irlande, II, 492.
Orthis elegantula, II, 175; *O. grandis*, *O. tricenaria*, *O. vespertilio*, II, 188.
Orthoceras laterale, II, 139; *O. Ludense*, *O. ventricosum*, II, 180.
Orthoclase, ou feldspath commun, II, 224.
Osborne (série d') ou de Sainte-Hélène, île de Wight, I, 308, 333.
Osnabruck, en Westphalie, couches tertiaires, I, 286.
Ostrea acuminata, I, 482; *O. carinata*, *O. columba*, *O. vesicularis*, I, 387; *O. distorta*, I, 455; *O. expansa*, *O. deltoidea*, I, 465; *O. gregaria*, I, 467; *O. Marshii*, I, 484.
Otodus obliquus (dent d'), I, 340.
Ourals (monts), (or des), II, 494.
Owen, (D. Dale), roches fossilifères les plus anciennes du Wisconsin, II, 207.
— (Prof.), cité, I, 259, 277, 407, 477, 479, 480; II, 33.
—, empreintes fossiles de pas, II, 48.

Owen (Prof.), fossiles de l'Australie, I, 260.
—, ichthyosaure, II, 10.
—, oiseaux de la Nouvelle-Zélande, I, 258.
—, quadrupèdes fossiles, I, 263.
—, reptile du terrain houiller, II, 124.
—, sauriens thécodontes, II, 60.
—, serpent de Bracklesham, I, 338.
—, serpent de Sheppey, I, 342.
—, singe fossile, I, 345.
—, sur l'Amphitherium, I, 477.
—, sur le Zeuglodon, I, 365.
Oxford clay, I, 469.

Pacifique (récifs de coraux du), I, 377.
Palæchinus gigas, II, 136.
Palæoniscus (contour du), Permien, II, 57.
Palæon. comptus (écaille de), *P. elegans* (écaille de), *P. glaphyrus* (écaille de), II, 57.
Palæophis Typhæus (vertèbres de), I, 339.
Palæosaurus platyodon (dent de), II, 59.
Palæotherium magnum (contour du), I, 333.
Palagouia (dykes à), II, 329.
Palagonite (tuff-), II, 237.
Paléontologie, définition de ce mot, I, 108.
Palerme (cavernes près de), I, 120.
Palma, (carte de l'île de), II, 276.
— (structure de), II, 274 à 298.
Paludina, (Auvergne), I, 320 ; *P. lenta*, I, 47, 309.
— *marginata*, *P. minuta*, I, 214.
— (Mayence), I, 305 ; *P. orbicularis*, I, 331.
Pampas (quadrupèdes éteints des) I, 262.
Paradoxydes Bohemicus, Cambrien, II, 203.
Parallel roads, I, 138.
Parasmilia centralis, craie, II, 134.
Pareto (M.), marbre de Carrare, II, 463.
Paris (bassin de), I, 350.
Parka decipiens, du Forfashire, II, 153.
Parkinson (M.), sur le crag, I, 178.
Parrot (D. F.), lacs salés d'Asie, II, 42.
Patella rugosa, grande oolite, I, 475.
Pechstein, ou rétinite, II, 242.
Pecopteris lonchitica, houiller, II, 69.
Pecten Beaveri, I, 386 ; *P. Islandicus*, I, 211 ; *P. Jacobæus*, I, 255.
Pect. papyracens, *P. quinquecostatus*, I, 386.
Pegmatite, variété de granit, II, 382.
Pentacrinus Briareus, lias, II, 4.
Pentamerus Knightii, II, 178 ; *P. lævis*, II, 186.
Pentland Hills (M. Maclaren, sur les), I, 212.
Pépérino, tuff volcanique, II, 242.
Peppy (M.), cité, I, 67.
Perlite, roche volcanique, II, 242.
Permien (groupe), sa description, II, 52.
Permienne, (flore), différente de celle de la houille, II, 61.
— (formation) en Thuringe, II, 60.
Perna Mulleti, grès vert inférieur, I, 101.
Pétrification, de bois fossile, I, 65.
— des fossiles, I, 71.
Pétrification (processus de), I, 71.
Phacops caudatus, Silurien, II, 183.
Phascolotherium Bucklandi (mâchoire de . I, 480.
Phasianella Heddingtonensis, coral-rag, I, 64
Philippi (D.), coquilles fossiles des environs de Naples, I, 190.
—, coquilles marines des cavernes de Sicile. I, 258.
—, coquilles tertiaires de Sicile, I, 252.
—, couches de Hesse-Cassel, I, 298.
Phillips, (M. W.), sur le kaolin de Chine, I, 19
— (Prof.), cité, II, 2.
—, sur le clivage, II, 448.
Phlebopteris contigua, oolite, I, 482.
Pholadomya fidicula, oolite, I, 483.
Phonolite, II, 242.
Phorus extensus, argile de Londres, I, 344.
Phosphate de chaux, I, 392.
Phragmoceras ventricosum, Ludlow, II, 179
Phryganea, (induses de), I, 320.
— (récente), larve de, I, 320.
Phyllade, ou schiste argileux, II, 426.
Physa Bristovii, Turbeck, 455.
Phys. columnaris, *P. hypnorum* (récente I, 48.
Pictou (Nouvelle-Ecosse), (calamites près de II, 90.
Pilla (M.), âge du marbre de Carrare, II, 463.
Pisidium amnicum, I, 215.
Pisolitique (calcaire) de France, I, 370.
Placodus gigas (dent de), II, 28.
Plagiostoma giganteum, II, 3 ; *P. Hoperi*. *P. spinosum*, I, 386.
Planitz (tripoli de), I, 43.
Planorbis discus, I, 332 ; *P. cuomphalus* I, 47, 334.
Plas Newyd (roche altérée par un dyke près de II, 252.
Plastiques (argiles), I, 345.
Playfair, cité, I, 75, 140.
—, sur les failles, I, 99.
—, théorie Huttonienne de la stratification. I, 97.
Plectrodus mirabilis, II, 176.
Plesiosaurus dolichodeirus, II, 9.
Pleurodictyum problematicum, II, 166.
Pleurotoma attenuata, I, 344 ; *P. rotata* I, 50.
Pleurotomaria carinata, *P. flammigera*. II. 137.
Pleurotomaria granulata, *P. ornata*, I, 483.
Plieninger (Prof.), mammifère triasique, II, 36.
Pliocène, (ancien), aux États-Unis, I, 289.
— (couches du), I, 246.
— — en Sicile, I, 252.
—, définition de ce mot, I, 187.
— nouveau, (période du), I, 204.
— (période), roches volcaniques, II, 328, 332.
Pliocènes (couches), I, 269.
Plombagine dans le Massachusetts, II, 437.
Plomb-du-Cantal, sa description, II, 366.

Plomb, filons dans les roches permiennes, II, 493.
Plongement, sens de ce mot, I, 66.
Pluie (empreintes fossiles de) dans le schiste houiller, II, 99.
Plutoniques et sédimentaires (roches), diagramme, II, 404.
Plutoniques (roches), II, 2, 3.
— de la période carbonifère, II, 414.
— de l'oolite et du lias, II, 409.
—, leur âge, comment le déterminer, II, 399.
— récentes et pliocènes, II, 401.
Pluviale (action), ses effets, I, 434.
Podocarya (fruit de), oolite, I, 481.
Poggendorff, cité, II, 433.
Poïkilitique, (formation), II, 52.
—, explication du mot, II, 25.
Poisson (le plus ancien) dans le Ludlow supérieur, II, 175.
Poissons fossiles, du lignite, II, 346.
— du terrain crétacé supérieur, I, 389.
— du vieux grès rouge, II, 151.
— du Weald, I, 408.
Polycælia profunda, Permien, II, 134.
Pomel (M.), mammifères d'Auvergne, I, 323; II, 359.
Ponce, II, 236.
Ponza (îles), dans la Méditerranée, II, 261, 452.
Porphyre, II, 223.
Porphyritique (granit), II, 389.
Portland (forêt fossile dans le), I, 459.
Portland stone, I, 464.
Portlock (Col.), roches siluriennes de Tyrone, II, 193.
Posidonia minuta, triassique, II, 27.
Posidonomya ? Richmond (États-Unis), II, 22.
Posid. Becheri, carbonifère, II, 143.
Post-pliocène (période), (roches volcaniques de la), II, 318.
Post-pliocènes (formations), I, 188.
Potsdam (grès de), à Keeseville, II, 205, 207.
— au Canada, II, 197.
Pottsville, (couches houillères près de), II, 114.
— (empreintes de pas de reptiles près de), II, 128.
Pouzzolane, I, 60.
Pouzzole, (élévation et abaissement du sol à), II, 322.
— (couches post-pliocènes à), I, 189.
Pratt (M.), ammonites, I, 469.
—, quadrupèdes éteints de l'île de Wight, I, 332.
Précipités de matières minérales, I, 68.
Predazzo (roches altérées à), II, 411.
Prestwich (M.), cité, I, 112.
—, couches éocènes d'Angleterre, I, 330, 337, 341, 345.
—, couches houillères de Coalbrook-Dale, I, 99, 106.
—, dénudation du Weald, I, 434.
Prévost (Constant), bassin de Paris, I, 351, 352, 355.
Productus antiquatus, *P. semireticulatus*, II, 136.
Prod. calvus, *P. horridus*, II, 55.
Protogyne, ou granit talqueux, II, 385.
Psammodus porosus (dent de), II, 141.
Psaronites en Allemagne et en France, II, 62.
Pseudocrinites bifasciatus, II, 182.
Pterichthys, vieux grès rouge, II, 157.
Pterodactylus crassirostris, I, 466.
Pterophyllum comptum, I, 482.
Pterygotus anglicus, II, 151; *P. problematicus*, II, 152.
Ptychodus decurrens (dent de), I, 398.
Puggaard (M.), terrain de transport de Moën, I, 441.
Pupa muscorum, I, 201; *P. tridens*, I, 49.
Purbeck (lits de), I, 450, 453.
Purpuroidea nodulata, oolite, I, 474.
Puy de Pariou, II, 364.
Puy de Tartaret, II, 350.
Pygopterus mandibularis (écaille de), II, 58.
Pyrénées, couches contournées, I, 93.
—, formation nummulitique, I, 361.
—, granit, II, 431.
—, roches crétacées, II, 408.
Pyroxène, ou augite, II, 228.
Pyrula reticulata, crag corallin, I, 276.

Quadrumanes fossiles, I, 345.
Quarrington Hill (dyke basaltique près de), II, 314.
Quartz, II, 382.
Quartzite, ou quartz-roche, II, 424.
Queues de poissons homocerques et hétérocerques, II, 57.

Radiolites foliaceus, *R. radiosus*, I, 394.
Rad. Mortoni, craie, I, 387.
Radnorshire (trapp stratifié du), II, 370.
Ramsay (Prof. A. C.), coupe près de Bristol, I, 166.
—, glaciers des Welsh, I, 221.
—, granit d'Arran, II, 417.
—, sur la dénudation, I, 109.
—, feuilletage des schistes cristallins, II, 457.
—, grès de Caradoc, II, 184.
Rastrites peregrinus, II, 191.
Récentes (couches), des environs de Naples, I, 189.
—, leur définition, I, 189.
Redfield (M.), faune glaciaire en Amérique, I, 225.
—, poisson fossile, II, 51.
Reptile, dans le vieux grès rouge du Morayshire, II, 147.
— (empreintes de pas de), dans les couches houillères, II, 126, 127.
— (os de), grande oolite, I, 477.
Reptiles carbonifères, II, 122, 123.

Reptiles, du lias, II, 8.
— fossiles du terrain houiller de la Nouvelle-Écosse, II, 130.
— (œufs fossiles de), I, 203.
Requins (dents de), I, 340.
Restes fossiles des cavernes, I, 258.
Retepora flustracea, II, 55.
Rétinite, ou pechstein, II, 243.
Rhin (loess de la vallée du), I, 197.
Rhinoceros leptorhinus (dent de), I, 206.
Rhynchonella spinosa, I, 483; *R. Wilsoni*, II, 178.
Rigi, près Lucerne, (conglomérat du), I, 287.
Rimula clathrata, grande oolite, I, 475.
Rissoa Chastelii, éocène, I, 309.
Rivière, (excavation à travers la lave par une), II, 339.
— (lits anciens de), II, 121.
— (terrasses de), I, 137.
Roche, définition de ce mot, I, 3.
— de hornblende, ou amphibolite, II, 240, 426.
— de tourmaline (schorl rock), II, 385.
Roches, altérées, II, 252.
—, — par les gaz souterrains, II, 434.
— aqueuses, définition, I, 3.
— arénacées (description des), I, 18.
— argileuses, I, 18.
— (classification des), I, 145.
— composées de zoophytes et coquilles fossiles, I, 40.
—, leur caractère minéral, I, 158.
—, quatre classes de roches contemporaines, I, 14.
— trappéennes, I, 148.
Rodenburg (volcan éteint de), II, 350.
Rogers (prof. H.D.), bassin houiller, États-Unis, II, 112.
—, cité, II, 114, 117, 169.
—, empreintes de pas de reptile dans le terrain houiller, II, 114.
—, roches Devoniennes aux États-Unis, II, 169.
Rogers (prof. W. B.), bassin houiller oolitique, États-Unis, II, 20, 112.
—, roches Devoniennes aux États-Unis, II, 169.
Rome (formations de), I, 280; II, 331.
Römer (F.), craie du Texas, I, 398.
Rosalina, craie, I, 44.
Rose (prof. G.), cité, II, 236, 374.
—, sur le hornblende, II, 226.
Ross-shire (dénudation dans le), I, 108.
Rostellaria macroptera, éocène, I, 344.
Rothliegendes inférieures ou Permiennes, II, 61.
Rubble, explication de ce mot anglais, I, 131.
Rupelmonde, (lits éocènes supérieurs), I, 302.
Russie, (blocs erratiques en), I, 208.
— (fer météorique fossile en), I, 243.
— (roches Permiennes de), II, 60.
Saarbruck (reptiles du bassin houiller de), II, 124.
Sable blanc de Alum-Bay, I, 21.
Saint-Paul (île de), II, 296.
Salisbury crag (couches altérées de), II, 255.
Salter (M.), fossiles du grès de Caradoc, II 185.
—, lits de Caradoc, II. 185.
—, poisson Silurien, II, 176.
—, roches Siluriennes du Canada, II, 198.
Sandpipes, près Maestricht, I, 134.
— près Norwich, I, 132.
— ou *Sandgalls*, explication de ces mots, I, 132.
Sandwich, (récifs de coraux aux îles), I, 379.
— (volcans des), II, 267, 296, 356.
Sangatte, près Calais, (terrain de transport de), I, 445.
San-Lorenzo, couches récentes, I, 194.
Sao hirsuta (métamorphoses du), II, 204.
Saucats, près Bordeaux, Faluns, I, 285.
Saurichthys apicalis (dent de), II, 30.
Sauriens, du lias, II, 8.
— thécodontes, II, 59.
Saussure (de), moraines, I, 237.
—, conglomérats verticaux, I, 77.
Sauterelle (aile de) dans le terrain houiller, II. 107.
Savi (M.), marbre de Carrare, II, 403.
Saxe (granit en), II, 415.
Saxicava rugosa, pleistocène, I, 211.
Scacchi (M.), couches post-pliocènes, I, 191.
Scaphites æqualis, I, 385; *S. gigas*, I, 402.
Scarborough (plantes oolitiques de), I, 482.
Schiste, à Chiastolite, II, 427.
— actinolitique, II, 427.
— à hornblende, ou amphibolique, II, 423, 437.
— alumineux, ou ampélite, II, 426.
— amphibolique, II, 423, 437.
— argileux, II, 424.
— — I, 13; II, 424.
— charbonneux, I, 481.
— chloritique, I, 13; II, 426.
Schistes, alumineux, Siluriens, de Suède, II. 205.
— charbonneux, I, 481.
—, leur définition, I, 19.
— houillers, près Dudley, II, 430.
Schisteux (clivage), II, 447.
Schizodus Schlotheimi, II, 53; *S. truncatus*. charnière, II, 53.
Schorl-rock (roche de tourmaline), et granit à tourmalines, II, 385.
Scoresby (M.), glaces flottantes, I, 205.
Scories, II, 236.
Scrope (M.), cité, I, 471; II, 349, 355, 360, 362, 368.
—, France centrale, I, 314.
—, îles Ponza, II, 452.
—, structure globulaire de certains trapps, II. 261.

Scrope (M.), trachyte, basalte, et tuff, II, 237, 317.
Sedgwick (Prof.), brèche calcaire, II, 53.
—, calcaire magnésien concrétionné, I, 61.
—, cité, II, 66.
—, composition minérale du granit, II, 392.
—, Coniston grit, II, 187.
—, granit, II, 411, 415.
—, grenats en roche altérée, II, 253.
—, grès Permiens, II, 58.
—, groupe Devonien, II, 158.
—, joints et clivage, II, 443, 447, 456.
—, lits de Caradoc, II, 185.
—, roches trappéennes du Cumberland, II, 377.
—, structure des roches, II, 443.
—, vieux grès rouge du Devon et du Cornouailles, II, 158.
Ségrégation dans les veines minérales, II, 476.
Sel gemme, à Northwich, II, 41.
— (lacs de), en Asie, II, 42.
—, (origine du), II, 39.
— (précipité de), II, 41.
Seraphs convolutum, argile de Barton, I, 337.
Serpentine, II, 243.
Serpent (œufs de), fossiles, à Tonna, près de Gotha, I, 202.
Serpula adhérant à une *Gryphæa*, I, 37; *id.* à un *Spatangus*, I, 38.
Serp. carbonaria, houille, II, 105.
Serpules et bryozoaires, sur encrine, I, 473.
— sur roche volcanique, en Sicile, I, 254.
Sewâlik (collines), couches miocènes, I, 292.
—, dépôts d'eau douce, I, 292.
Sharpe (M. D.), clivage schisteux, II, 456.
—, grès vert supérieur, I, 391.
—, mollusques des couches Siluriennes, II, 195.
Sheppey (île) (flore fossile de l'), I, 342.
Sherringham (masse de craie dans le terrain de transport de), I, 217.
Shetland, (granit aux), II, 387, 391.
—, schiste amphibolique, II, 437.
Shrewshury (dépôt houiller près de), II, 104.
Sicile, (Fiume Salso en), I, 352.
—, falaises intérieures, I, 120.
—, couches du nouveau pliocène, I, 252.
—, terrasses de dénudation, I, 121.
Sidlaw (collines), trapp du vieux grès rouge, II, 375.
Sidney, cap Breton, (bassin houiller de), II, 98.
Siebengebirge (roches ignées des), II, 347.
Sienne (formation à), I, 279.
Sigillaria, II, 77, 79.
Sigill. lævigata, T. houiller, II, 77.
Silex de la craie, I. 18, 381.
Silice opaline des infusoires, I, 43.
Siliceuses (roches), définition, I, 18.
Siliceux (calcaire), sa définition, I, 20.
Silliman (Prof.), cité, II, 401.
Silurien, explication du mot, II, 173.
Silurienne (période), roches plutoniques, II, 411.
Siluriennes, (couches), aux États-Unis, II, 194.
—, —, (empreintes de pas dans les), II, 206.
—, —, (épaisseur des), II, 191.
—, —, originaires de mer profonde, II, 198.
— (roches volcaniques), II, 375.
— (tableau des roches), II, 173.
Simpson (M.), les îles de glace, I, 218.
Singe (dent de), éocène, I, 345.
Siphonia pyriformis, grès vert supérieur, I, 388.
Siphonotreta unguiculata, Silurien, II, 194.
Sivatherium, ruminant éteint, I, 292.
Skapter Jokul (éruption du), II, 316.
Skye, colonnes basaltiques, II, 257.
—, dykes, II, 249.
—, grès, I, 59.
—, (roches de), II, 253, 410.
Slikensides, définition de ce mot, II, 480.
Smith (M.), de Jordan Hill, sur le pleistocène, I, 226.
Soissonnais (sables du), I, 358.
Solenhofen (pierre lithographique de), I, 466.
Solfatare (décomposition de roches dans la), II, 434.
Somma, II, 323.
— (lave à la), II, 250.
Sopwith (M. T.), (modèles par), I, 92.
Sorby (M.), théorie mécanique du clivage, II, 449.
Sortino (caverne dans la vallée de), I, 258.
Sources minérales. Voyez Minérales (sources), II, 488.
Sous-jacent, expression appliquée au granit, I, 12.
Sowerby (M. G.), cité, I, 271.
Spaccaforno (falaises intérieures à), I, 123.
Spalacotherium, mammifère du Purbeck, I, 456; II, 215.
Spatangus, avec serpule adhérente, I, 38.
— (récent), I, 38; *S. radiatus*, I, 374.
Spezia (roches calcaires dans le golfe de la), II, 463.
Sphærexochus mirus, Wenlock, II, 183.
Sphærulites agariciformis, craie, I, 394.
Sphenopteris gracilis, I, 409.
Spirifer disjunctus, *S. Verneuilii*, II, 160; *S. glaber*, *S. trigonatis*, II, 137.
Spir. mucronatus, II, 165; *S. undulatus*, II, 55; *S. Walcottii*, II, 4.
Spirorbis carbonarius, houiller, II, 105.
Spitzberg (glaciers du), I, 230.
Spondylus spinosus, craie, I, 386.
Spongiaires de la craie, I, 388, 389.
Spongilla, de Lamarck, dans le tripoli, I, 42.
— *spicula*, dans id., I, 42.
Staffa (colonnes basaltiques à), II, 257.
St.-Abb's Head (couches contournées près de), I, 80.
St.-Andrew's (roches trappéennes dans les falaises près de), II, 372, 373.
Stauria astræformis, Silurien, II, 134.

Ste-Hélène, (basalte à), II, 258, 328. g
— (série de), ou d'Osborne, île de Wi ht, I, 307, 333.
Stenon, classification des roches, I, 147.
Sternbergia, sa structure, II, 80.
Stigmaria, et *Sigillaria*, II, 78.
—, dans une forêt fossile, Nouvelle-Écosse, II, 94.
— *ficoïdes*, houiller, II, 79.
Stirling Castle (roche altérée par un dyke à), II, 255.
St-Laurent (baies et falaises intérieures du golfe de), I, 125.
St-Mihiel, France, (falaises intérieures près de), I, 124.
St-Pierre (mont), Maestricht, fossiles, I, 372.
—, Sandpipes, I, 134.
Stockholm (lits post-pliocènes près de), I, 192.
Stokes (M.), sur la pétrification, I, 71.
Stonesfield, (mammifères fossiles à), I, 477, 479.
— (schiste de), I, 475.
Storton Hill (empreintes fossiles de pas à), II, 31.
Stratification, ses formes, I, 22, 27, 77.
— discordante, I, 95.
Strickland (M.), sur le Nouveau Grès Rouge, II, 30.
Stringocephalus Burtini, Devonien, II, 163.
Stromboli (lave de), II, 402.
Strophomena depressa, II, 182; *S. grandis*, II, 188.
Studer (M.), Alpes de la Suisse, II, 460.
—, blocs de transport du Jura, I, 241.
Stutchbury (M.), cité, II, 11, 50.
Sub-Apennines (couches), I, 179, 278.
Succinea amphibia, I, 48; *S. elongata*, I, 204.
Sud-Devon et Cornouailles, Vieux Grès Rouge, II, 158.
Suède, schistes alumineux, II, 205.
Suffolk (crag de), I, 269.
Sullivan (Capit.), carte des îles Falkland, I, 142.
Superga, près Turin, terrain tertiaire, I, 287.
Supérieur (marne du Lac), I, 59.
Superposition, des dépôts aqueux, I, 157.
— des roches volcaniques, caractère d'âge, II, 312.
Supra-crétacé, explication de ce mot, I, 107.
Sus-jacentes, mot appliqué à des roches volcaniques, I, 12.
Sus scrofa (dent de), I, 266.
Sussex (marbre de), I, 407.
Swansea, (couches houillères près de), II, 67.
—, tiges de *Sigillaria*, II, 87.
Syénite, II, 384.
Syénitique (granit), II, 385.
Synclinale (ligne), définition de ce mot, I, 79.
Tableau chronologique des couches fossilifères, I, 169.
Talqueux, (gneiss), II, 426.
— (granit), II, 385.
Tamise (vallée de la), dépôts d'eau douce, I, 247.
Tapirus Americanus (récent), dent de, I, 267.
Tartaret (cône du Puy de), II, 359.
Telerpeton Elginense, Vieux Grès Rouge, II, 147.
Tellina obliqua, pleistocène, I, 250.
Temnechinus excavatus, crag coralline, I, 276.
Ténériffe (Pic de), II, 299, 300.
Tentaculites annulatus, Silurien, II, 186.
Terebellum convolutum, *T. fusiforme*, I, 337.
Terebratula (*Atrypa*) *affinis*, II, 179.
Tereb. biplicata, *T. carnea*, *T. Defrancii*, *T. octoplicata*, *T. plicatilis*, *T. pumilus*, I, 385.
Tereb. digona, I, 474; *T. fimbria*, I, 483; *T. hastata*, II, 137; *T. lyra*, I, 391.
Tereb. navicula, II, 175; *T. perrecta*, II, 163; *T. sella*, I, 403; *T. Wilsoni*, II, 178.
Teredina personata (bois fossile percé par la), I, 39.
Teredo navalis, lithophage, I, 39.
Terra del Fuego, I, 235.
— (*Fucus giganteus* à la), I, 330.
Terre à foulon (Fuller's earth), de l'oolite, I, 482.
Terres (exhaussement et abaissement des), I, 74.
Tertiaire, explication de ce mot, I, 176.
Tertiaires, (couches) (tableau des), I, 169.
— (dépôts), I, 285, 303, 304.
Testudo atlas, des collines Sewâlik, I, 293.
Texas (craie au), I, 398.
Thamnastræa, coral rag, I, 467.
Thanet (sables de), I, 349.
Thécodontes (sauriens), II, 39, 59.
Thecodontosaurus (dent de), II, 59.
Thecosmilia annularis, I, 467.
Thelodus (écailles chagrinées de), II, 176.
Théorie plutonienne, I, 149.
Thirria (M.), groupe oolitique en France, II, 19.
Thuja occidentalis, dans l'estomac d'un mastodonte, I, 232.
Thurmann (M.), cité, I, 89, 433, 474.
Tilestones, II, 174.
Tilgate (débris fossiles dans la forêt de), I, 407.
Till, explication de ce mot, I, 204.
—, son origine, I, 204.
Tiverton (trapp-porphyre près de), II, 371.
Tongrien (système) de M. Dumont, I, 301.
Toscane (roches volcaniques de), II, 331.
Touraine (faluns de), I, 284.
Trachyte, II, 321.

Trachyte de Hongrie, II, 287.
Trachytiques (roches), plus anciennes que le basalte, II, 317.
Transition (de), explication du mot, I, 147; II, 172.
Transport (formation de), (abaissement durant la période de la), I, 228.
— (climat de la période de la), I, 233.
— contournée près de Cromer, I, 216.
— (coquilles de la), au Canada, I, 226.
— dans le Norfolk, I, 214.
— de Scandinavie, du nord de l'Allemagne et de la Russie, I, 204.
— du Nord, dans la Gaule du Nord, I, 220.
— —, en Écosse, I, 211.
—, en Irlande, I, 221.
— (météorites dans la), I, 242.
Trappéennes (roches), I, 148.
—, leur caractère lithologique, II, 316.
—, leurs rapports avec les laves, II, 262.
Trapp, dans le Radnorshire, II, 376.
— (dyke de), dans le Fifeshire, II, 374.
—, explication de ce mot, II, 220.
—, intrusion dans les couches, II, 256.
—, passage au granit, II, 285.
—, ses différents âges, II, 371, 374.
— (structure globulaire du), II, 261.
Trapps de l'Eifel inférieur, II, 351.
Trapp-tuff, II, 236.
Travertin; comment s'est-il déposé? I, 55.
Trias ou Nouveau Grès Rouge, 24, 25, 29.
—, dans le Cheshire et le Lancashire, II, 30, 41.
—, (sous-divisions du), II, 25.
Trigonellites latus, oolite, I, 466.
Trigonia caudata, I, 403; *T. gibbosa*, I, 464.
Trigonocarpum olivæforme, *T. ovatum*, II, 94.
Trigonotreta undulata, Permien, II, 55.
Trilobites, dans les couches Devoniennes, II, 166.
— du Silurien inférieur, II, 189.
— (métamorphoses des), II, 189, 204.
Triloculina inflata, éocène, I, 357.
Trimmer (M.), coquilles dans le transport près de Menai-Straits, I, 220.
—, dénudation du Weald, I, 141.
—, sur les *sand-galls*, I, 132.
Trinucleus Caractaci, *T. concentricus*, *T. ornatus*, II, 190.
Trionyx, fragment de carapace, I, 331.
Tripoli, composé d'infusoires, I, 41.
Trochus anglicus, lias, I, 64.
Troncs d'arbres fossiles, II, 91.
Trophon clathratum, pleistocène, I, 211.
Tuffs du Wrekin et de Caer Caradoc, II, 375.
Tuff volcanique et trapp, I, 10; II, 237.
Tuomey (M.), cité, I, 307.
Tupaia tana (récente), (mâchoire de), I, 478.
Turner (Dr), cité, I, 68, 69.
Turrilites costatus, craie, I, 385.
Turritella multistriata, Brackleshaw, I, 341.
Tynedale (faille de), I, 102.
Tynemouth-Cliff (calcaire à), II, 54.
Typhis pungens, Barton, I, 337.

Uddevalla, (coquilles de), comparées avec celles des environs de Naples, I, 182.
— (couches post-pliocènes à), I, 192.
Ungulites (grès à), de Russie, II, 193.
Unio littoralis (récent), I, 47.
Un. Valdensis, wealdien, I, 408.
Upsal (couches contenant des coquilles de la Baltique, près d'), I, 209.
Ursus spelæus (dent de), I, 268.

Vagues, leur action sur le calcaire, I, 126.
Val di Noto, (composition du), II, 328.
—, falaises intérieures, I, 121.
—, roches ignées, II. 264.
Vallées, (origine des), I, 112.
— transversales du Weald, I, 127.
Valorsine (granit de), II, 302.
Valvata, pleistocène, I, 48.
Végétaux fossiles du Weald, I, 410.
Veines minérales, gangue disposée par bandes parallèles, II, 483.
—, voy. Minéraux (veines), II, 474.
Volsy (volcans du), II, 305.
Venericardia planicosta, éocène, I, 338.
Venetz (M.), glaciers des Alpes, I, 238.
Ventriculites radiatus, craie, I, 388.
Verneuil (M. de), couches horizontales en Russie, I, 208.
—, Devonien des États-Unis, II, 169.
— flore Permienne, II, 58.
—, Silurien inférieur aux États-Unis, II, 195.
—, sur le *Pentamerus Knightii*, II, 178.
Vertébrés fossiles, leur absence du Silurien inférieur, II, 209.
—, (progrès des découvertes de), II, 213.
Vésuve (éruption du), II, 325.
Vicence (colonnes basaltiques près de), II, 260.
Vidal (Capit.), II, 276.
Vienne (faluns du bassin de), I, 286.
Vieux grès rouge, II, 145.
—, dans le Forfarshire, II, 440.
— (trapp du), II, 374.
Virginie, États-Unis, coquilles fossiles, I, 289.
Virlet (M.), corrosion de roches par les gaz, II, 434.
—, falaises intérieures, I, 117.
—, géologie de Morée, II, 370.
Volcaniques, (dykes), I, 9; II, 324.
— (monts), leur forme, I, 8; II, 338.
— (roches), analyse de leurs minéraux, II, 245.
— — Cambriennes, II, 376.
— — (caractère de l'âge des), II, 312.
— —, composition et nomenclature, II, 223.
— — de Hongrie, II, 352.
— — de la période post-pliocène, II, 318.

Volcaniques, (roches), des Galles, leur grande épaisseur, II, 192.
—, —, leur âge, II, 342.
—, —, leur description, I, 8; II, 219.
—, — Siluriennes, II, 375.
— (tuffs), I, 10; II, 237.
Volcans, aux environs d'Olot, en Catalogne, II, 332.
— d'Auvergne, II, 354.
— de Java, II, 271.
— de l'Eifel, II, 347.
— des Canaries, II, 274.
— des îles Sandwich, II, 267.
— en Espagne, leur âge, II, 341.
— éteints, I, 9; II, 332, 347, 354.
Voltzia heterophylla, II, 28.
Voluta ambigua, *V. athleta*, I, 337.
Vol. Lamberti, crag, I, 275.
Vol. Latrella, I, 241; *V. nodosa*, I, 344.

Wacke, ou trapp argileux, II, 244.
Wael (M. de), couches d'Anvers, I; 277.
Walchia piniformis, Permien, II, 61.
Waller, cité, I, 151.
Warren (Dr J.-C.), squelette du *Mastodon giganteus*, I, 232.
Waterhouse (M.), cité, 323.
Watt (M. G.), expériences sur roches fondues, II, 326, 432.
Weald, (le), étendue de la formation, I, 410.
—, explication du mot, I, 403.
— (fracture et soulèvement du), I, 432.
—, plantes et animaux, I, 408, 412.
— (vallée du), à quelle époque fut-elle dénudée? I, 434.
Webster (M. T.), cité, I, 177, 459.
Wellington Valley, cavernes dans cette vallée, I, 261.
Wener (lac), (couches Siluriennes horizontales du), I, 74.
Wenlock, (formation du), II, 173.
— (schiste de), II, 183.
Werner, classification des roches, I, 147.
—, roches volcaniques, II, 225.
—, veines minérales, II, 474.
Westerwald (roches ignées du), II, 344, 347.
Westphalie (terrain tertiaire de), I, 286.
Westwood (M.), insectes du lias, II, 17.
Whin-Sil (intrusion de trapp dans les couches su), II, 256.
Whinstone, ou trapp, II, 244.
Whitestone, ou eurite, II, 385.
Wigham (M.), fossiles près de Norwich, I. 251.
Wolverhampton (forêt fossile près de), II, 89.
Wood (M. Searles), cétacés du crag, I, 277.
—, cité, I, 284.
—, coquilles du crag d'Anvers, I, 277.
—, fossiles du crag, I, 272.
—, nombre des coquilles du crag, I, 252.
Woodward (M.), ossements de mammouth, Norfolk, I, 249.
Woolwich (lits de), I, 347.
Wrekin (trapp du), I, 112.
Wyman (Dr), cité, I, 366.

Xiphodon gracile (contour du), I, 353.

Yorkshire (plantes de l'oolite du), I, 481.

Zamia spiralis (récent), I, 459.
Zechstein, II, 52, 53.
Zeuglodon cetoïdes (dent et vertèbres de), I, 365.
Zoophytes fossiles, I, 38, 158, 254, 291, 464, 467; II, 134, 135, 162, 181.

FIN DE LA TABLE ALPHABÉTIQUE GÉNÉRALE.

MANUEL

DE

GÉOLOGIE ÉLÉMENTAIRE

—

SUPPLÉMENT

TRADUIT SUR LA DEUXIÈME ÉDITION, REVUE.

SOMMAIRE.

Couches Pliocènes d'Angleterre.

Preuves déduites des coquilles fossiles, qu'un refroidissement graduel de climat a eu lieu en Angleterre aux périodes successives des Crags Corallin, Rouge, et de Norwich. — Monographie des mollusques du Crag, par Searles Wood. — Le Mastodonte du Crag, espèce Pliocène. — Différents groupes de mammifères fossiles au sein des dépôts d'eau douce et de ceux de transport (*drift*) de la vallée de la Tamise. — Bœuf musqué fossile dans le terrain de transport des environs de Londres et de Berlin.

Où tracer la ligne de démarcation entre les couches Tertiaires Éocènes et Miocènes ?

Classification des couches Miocènes et Éocènes. — A quel point doit finir le Miocène Inférieur et commencer l'Éocène Supérieur. — Motifs qui ont fait proposer un changement de nomenclature. — Coquilles et quadrupèdes fossiles, Miocènes, des Collines Sewâlik ou Sub-Himalayennes.

Faune Miocène des Collines Sewâlik.

Singe de grande taille, Miocène, du midi de la France.

Dénudation du Weald.

Découverte de Crag Inférieur au sommet des Downs du nord, entre Folkestone et Dorking.

Nouveaux mammifères fossiles du Purbeck ou couches Oolitiques Supérieures, dans le Dorsetshire.

Découverte de sept ou huit genres de Mammifères dans les couches du Purbeck ou Oolitiques Supérieures du comté de Dorset. — Premier exemple d'une mâchoire de mammifère dans les Roches Secondaires. — Marsupiaux et Placentaires insectivores ; Marsupiaux herbivores. — Figures et descriptions. — Nouveau jour jeté sur le *Microlestes*, ou Mammifère Triasique le plus ancien. — Portée générale des nouvelles découvertes.

Découverte de débris de Mammifères au sein de roches d'une haute antiquité dans la Caroline du Nord, États-Unis.

Trias Supérieur des Alpes Orientales.

Équivalent Marin du Trias Supérieur constaté dans les Alpes Autrichiennes. — Vraie position des lits de Saint-Cassian et de Hallstatt. — 800 nouvelles espèces de Mollusques et de Rayonnés Triasiques. — Chaînons ainsi fournis pour lier les faunes Paléozoïque et Néozoïque.

Sur l'existence supposée de végétaux Phænogames (non Gymnospermes) dans la formation Houillère.

Roches Siluriennes et Cambriennes, et théorie des Colonies, de M. Barrande.

Ancienneté d'Oiseaux fossiles.

Paris. — Imprimerie de L. MARTINET, rue Mignon, 2.

SUPPLÉMENT

AU

MANUEL DE GÉOLOGIE

ÉLÉMENTAIRE

Par sir CHARLES LYELL,
Membre de la Société Royale de Londres, auteur des *Principes de Géologie*, etc.

TRADUIT SUR LA DEUXIÈME ÉDITION, REVUE

Par M. HUGARD,
Aide naturaliste au Muséum, membre de l'Académie royale des sciences de Turin, etc., etc.

PARIS
LANGLOIS ET LECLERCQ, ÉDITEURS,
RUE DES MATHURINS-SAINT-JACQUES.
1857

MANUEL

DE

GÉOLOGIE ÉLÉMENTAIRE

SUPPLÉMENT A LA CINQUIÈME ÉDITION.

LONDRES, 25 MAI 1857.

COUCHES PLIOCÈNES D'ANGLETERRE.

Couches Pliocènes d'Angleterre. — Preuves que fournissent les coquilles fossiles d'un refroidissement graduel de climat en Angleterre aux périodes successives des Crags Corallin, Rouge, et de Norwich — Monographie des mollusques du Crag, par Searles Wood. — Le Mastodonte du Crag, espèce Pliocène. — Différents groupes de mammifères fossiles au sein des dépôts d'eau douce de la formation de Transport (*Drift*) de la vallée de la Tamise. — Bœuf musqué fossile du Terrain de Transport des environs de Londres et de Berlin.

Depuis la publication de la cinquième édition de cet ouvrage, M. Searles Wood a terminé son importante Monographie des coquilles du Crag et du Tertiaire Supérieur d'Angleterre (1). Les résultats géologiques du consciencieux examen qu'il a fait d'un aussi grand nombre d'espèces de testacés concordent avec la classification que nous avions déjà adoptée (pages 250-269, etc., t. I), surtout quant à la position des différentes divisions du Crag dans les grandes séries des formations d'Europe. Cette Monographie nous prouve aussi,

(1) *Société Paléontographique*, 1848 à 1856.

jusqu'à l'évidence, qu'un refroidissement graduel de climat a eu lieu en Angleterre depuis l'époque des couches Pliocènes anciennes, jusqu'à celle des plus modernes, refroidissement qu'avait déjà admis, d'après les coquilles du Crag, en 1846, Feu Édouard Forbes (1). Nous n'avons pas reçu de M. Wood lui-même une analyse de cet excellent traité ; mais nous y suppléerons en donnant les tableaux suivants, qui font ressortir diverses conclusions générales auxquelles paraît devoir conduire l'ensemble des coquilles. Pour dresser ces tableaux, nous avons été habilement secondé par M. S. P. Woodward, l'auteur bien connu du *Manual of the Mollusca, Recent and Fossil* (2).

Nombre des Espèces connues de Testacés Marins dans les trois dépôts Pliocènes d'Angleterre appelés Crag de Norwich, Crag Rouge et Crag Corallin.

Brachiopodes	6
Conchifères.	206
Gastéropodes	230
Total.	442

Distribution des Testacés Marins précédents.

Nombre des espèces.		Espèces communes aux	
Crag de Norwich	81	Crag de Norwich et C. Rouge (absentes du C. Corallin). . .	33
Crag Rouge	225	Crag de Norwich et C. Corallin (absentes du C. Rouge). . . .	4
		Crag Rouge et C. Corallin (absentes du C. de Norwich)	116
Crag Corallin.	327	Crags de Norwich, Rouge, et Corallin (3).	19

Proportion entre les Espèces Récentes et les Espèces Éteintes.

	Récentes.	Éteintes.	Pour 100 Récentes.
Crag de Norwich.	69	12	85
Crag rouge	130	93	57
Crag corallin	168	159	51

(1) Mém. du *Geol. Survey*, Londres, 1846, p. 391.

(2) Londres, 1853-56.

(3) Ces 19 espèces doivent être ajoutées aux nombres 33, 4, et 116 respectivement, de manière à obtenir la vraie proportion des espèces *communes* dans chacun de ces cas.

Espèces Récentes qui ne vivent plus aujourd'hui dans les mers Britanniques.

	Espèces septentrionales.	Espèces méridionales.
Crag de Norwich.	12	0
Crag Rouge	8	16
Crag Corallin.	2	27

Dans la liste ci-dessus je n'ai pas compris les coquilles des lits glaciaires de la Clyde, ni celles de divers autres dépôts Britanniques d'origine plus moderne que le Crag de Norwich, lits et dépôts dont les espèces sont presque toutes, et peut-être toutes, récentes, bien que M. Wood les ait décrites comme fossiles, ou les ait énumérées dans son Appendice. J'ai passé aussi sous silence, avec intention, les coquilles terrestres et celles d'eau douce, au nombre de trente-deux, ainsi que trois espèces de coquilles de l'Argile de Londres, que M. Wood lui-même regarde comme douteuses.

Le plus grand nombre des espèces marines récentes indiquées dans ces tableaux habitent encore les mers Britanniques, mais elles varient considérablement par leur abondance relative : quelques-unes des plus communes du Crag sont extrêmement rares dans la période actuelle : par exemple, le *Buccinum Dalei;* d'autres, qu'on ne rencontre qu'en nombre très limité à l'état fossile, sont au contraire de nos jours fréquentes : telles sont le *Murex erinaceus* et le *Cardium echinatum.*

La fin du tableau jette une vive lumière sur le changement marqué de climat qui s'est fait sentir aux trois périodes successives. On verra que, dans le Crag Corallin, se trouvent vingt-sept coquilles méridionales, parmi lesquelles vingt-six espèces Méditerranéennes, et une, des Indes Occidentales (*Erato Maugeræ*). De ces coquilles, treize seulement existent dans le Crag Rouge, associées à trois nouvelles espèces méridionales, tandis que la totalité disparaît des lits de Norwich. D'un autre côté, le Crag Corallin ne contient que deux coquilles arctiques, *Admete viridula* et *Limopsis pygmæa;* au contraire le Crag Rouge fournit huit espèces septentrionales, toutes se reproduisant dans le Crag de Norwich, avec quatre

autres, habitantes aussi des régions arctiques; il y a donc tout lieu de croire qu'un refroidissement continu de climat a prévalu durant la période Pliocène en Angleterre. La présence de coquilles septentrionales ne saurait s'expliquer par la supposition que celles-ci auraient fréquenté les niveaux profonds de la mer; en effet, quelques-unes d'entre elles, par exemple la *Tellina calcarea* et l'*Astarte borealis*, abondamment répandues, ont quelquefois leurs valves encore unies par les ligaments; elles accompagnent d'autres coquilles littorales telles que *Mya arenaria* et *Littorina rudis*; sans aucun doute, elles vécurent dans des eaux basses. Cependant le caractère septentrional du Crag de Norwich n'est pas complétement démontré par le simple fait que cette formation contient douze espèces du Nord, n'existant plus dans les mers Britanniques actuelles; en effet, diverses coquilles boréales qui de nos jours se montrent encore retardataires dans les bas-fonds en Écosse, y sont cependant beaucoup plus rares qu'aux derniers jours de la période du Crag. C'est surtout la prédominance de certains genres et espèces qui conduit le conchyliologiste à voir un caractère arctique dans le Crag de Norwich. De même, c'est la présence de genres tels que *Pyrula*, *Columbella*, *Terebra*, *Cassidaria*, *Pholadomya*, *Lingula*, *Discina* et autres, qui donne un aspect méridional aux coquilles du Crag Corallin.

Pour conclure, nous ferons observer que le froid qui alla croissant depuis l'époque du Crag Corallin jusqu'à celle du Crag de Norwich continua, avec des oscillations peut-être, à sévir de plus en plus après l'accumulation de ce dernier dépôt, jusqu'à atteindre son maximum, celui de la période dite Glaciaire. La faune marine de cette période contient, en Irlande et en Écosse, des espèces récentes de mollusques qui vivent aujourd'hui dans le Groënland et autres régions, à de très grandes distances au Nord des surfaces de pays où nous rencontrons leurs débris à l'état fossile.

Ce ne sont pas précisément les deux formations plus anciennes dont il vient d'être question, mais les dépôts lacus-

tres et fluviatiles (quelques-uns contemporains du Crag marin de Norwich et d'autres groupes postérieurs à celui-ci) qui présentent la plus grande difficulté à la classification dans l'Est et le Sud de l'Angleterre. En traitant du Pliocène Nouveau et de la Formation de Transport de la vallée de la Tamise, j'ai fait voir combien le sujet restait encore obscur, et j'ai essayé d'en dévoiler les causes (Chap. XIII, pages 246 à 249, t. I). Chaque année, toutefois, emporte avec elle quelque point d'incertitude : la vraie position relative des divers lambeaux de la croûte superficielle commence à se dessiner avec plus de netteté, et les caractères spécifiques des mammifères et des coquilles acquièrent des bases plus solides. En premier lieu, la présence, que nous avons ailleurs constatée, de plusieurs coquilles marines d'espèces septentrionales au sein du Crag de Norwich, et le mélange de ces coquilles à d'autres ayant un caractère d'eau douce ou terrestre ; puis, dans le même dépôt, quelques mammifères d'une nature plus méridionale ; — cette association s'explique peut-être par la supposition que la mer du Crag de Norwich aurait été ouverte vers le pôle, avec îlots disséminés à sa surface, et que la terre ferme de la même période se serait étendue au loin vers le Sud. Dans cette dernière direction, il pouvait exister un continent d'où s'écoulaient, vers le Nord, des rivières nourrissant dans leurs eaux l'Hippopotame et des coquilles telles que *Cyrena consobrina*.

Le Mastodonte découvert dans le Crag Rouge et dans celui de Norwich (t. I, p. 251, et fig. 135, p. 266) a été aussi, dernièrement, considéré comme espèce Miocène ou Falunienne. Adoptant cette manière de voir, et donnant à l'espèce le nom de *M. angustidens*, sur l'autorité de M. le professeur Owen, j'avais pensé d'abord que ses débris osseux provenaient de couches plus anciennes, d'où ils auraient été entraînés dans le Crag, offrant ainsi une certaine analogie avec le mélange que l'on rencontre quelquefois de fossiles de l'Argile de Londres et de la Craie au sein du même dépôt. Du reste, on a récemment signalé plusieurs dents de ce pachyderme éteint

avec de nombreux os auriculaires de baleine, à Felixstow, au travers de ce qu'on appelle le *detrital bed* (lit à détritus) si riche en phosphate de chaux, et employé en agriculture. Cette accumulation de matériaux transportés gît à la base du Crag Rouge, et l'on a supposé que les mammifères fossiles qu'elle recèle provenaient de la destruction d'un groupe de couches plus ancien. Quant au Mastodonte ci-dessus mentionné, le docteur Falconer, qui a consacré quinze années à l'étude des Proboscidiens récents et fossiles, m'assure que le fossile est un animal Pliocène bien connu, observé en Auvergne par MM. Croizet et Jobert, et nommé par eux *Mastodon Arvernensis*. Cuvier n'a pas adopté ce nom ; il n'avait connu de l'animal qu'un très petit nombre de spécimens provenant d'Auvergne, et il l'avait confondu avec le *M. angustidens*. Aujourd'hui que l'on en possède deux squelettes entiers, on peut établir ses rapports à deux sous-genres distincts. Le fossile du Crag appartient au *Tetralophodon* de Falconer, sous-genre dont on connaît cinq espèces, et ainsi nommé parce que la pénultième vraie molaire est ornée de quatre crêtes, de même que les deux dents placées immédiatement devant cette dernière aux deux mâchoires. Le *Mastodon angustidens*, d'un autre côté, se range avec six autres espèces dans la section appelée *Trilophodon*, dans laquelle les dents analogues aux précédentes montrent chacune trois crêtes. Ce Mastodonte, suivant MM. Lartet et Falconer, est caractéristique des Faluns et de la Mollasse à Sansan, au pied des Pyrénées, et de diverses autres localités Miocènes (1).

Le *Mastodon Arvernensis* est, d'après le docteur Falconer, la seule espèce du genre que l'on ait constatée jusqu'à présent en Angleterre. Il abonde avec l'*Hippopotamus major* du même âge dans le Piémont et à Montpellier. On peut, par conséquent, le considérer comme une espèce Pliocène caractéristique ; cette

(1) Le professeur Owen a donné (*Quart. Geol. Journ.*, février 1856, p. 223), comme synonyme du Mastodonte du Crag, le nom de *M. longirostris*, Kaup, fossile des Sables Miocènes d'Eppelsheim, que Falconer rapporte au sous-genre *Tetralophodon*.

manière de voir s'accorde du reste avec le fait que ses débris sont mieux conservés dans les couches d'eau douce associées au Crag de Norwich, et contemporaines de cette formation. Mais aucune preuve n'établit qu'il ait survécu en Angleterre jusqu'à l'époque encore plus moderne de ces dépôts fluviatiles de lavallée de la Tamise où l'on a découvert l'*Hippopotamus major*, et une espèce de singe, le *Macacus Pliocœnus*. Nous avons parlé des couches d'eau douce précédentes (p. 247, t. I); on les observe à Grays, dans l'Essex, à 33 kilomètres au-dessous de Londres, ainsi qu'à Ilford, Erith et autres points sur les bords de la Tamise. Elles sont composées de sable, gravier et limon (*loam*), sur 18 à 30 mètres de puissance, et souvent elles forment sur chaque flanc de la vallée une terrasse dont le niveau est beaucoup plus élevé qu'un vaste lambeau de gravier plus moderne, sur lequel je vais revenir. A Grays, on rencontre la *Cyrena consobrina* du Nil, dont il a déjà été question, et qui appartient au Crag de Norwich; elle s'y trouve associée à plusieurs autres espèces qui n'habitent plus aujourd'hui la Grande-Bretagne, et dont quelques-unes même sont inconnues à la surface actuelle du globe; elle est accompagnée aussi d'une très grande quantité d'espèces anglaises de mollusques terrestres et d'eau douce. La *Cyrena*, que j'avais jusqu'à ces derniers temps supposée inconnue à l'Europe (p. 248, t. I), vit encore, au dire de M. Woodward, en Sicile; elle est désignée par quelques naturalistes sous le nom de *C. panormitana*. Avec ces fossiles, et en société de l'hippopotame et du singe dont nous avons parlé, se rencontrent des débris de *Rhinoceros leptorhinus*; l'éléphant, au milieu de tous ces restes, n'est point un mammouth comme on l'avait d'abord supposé, mais, suivant le docteur Falconer, ce serait l'*Elephas antiquus*, et quelquefois l'*E. priscus*.

Une autre question, sujette aussi à controverse, est de savoir quelle fut l'époque véritable de la submersion d'une grande partie du Sud-Est de l'Angleterre au-dessous de l'océan de l'époque glaciaire, submersion durant laquelle les erratiques du Nord qui recouvrent aujourd'hui le Norfolk et le

Suffolk, ainsi que la colline de Highgate, près de Londres, furent transportés vers le Sud par les glaces ; l'événement eut-il lieu avant ou après l'origine des erratiques de Grays, Ilford et autres localités sur les rives de la Tamise ? Un point parfaitement établi, c'est qu'après l'accumulation de ces lits fluviatiles, une vaste nappe de gravier ocreux s'étendit sur les plus bas niveaux de la même vallée, et enveloppa les débris de quadrupèdes arctiques. Ce gravier ocreux est développé de l'Est à l'Ouest, des hauteurs de Maidenhead, à travers Londres, jusqu'à la mer, sur une longueur de 80 kilomètres, pour une largeur variable de 3 à 14 kilomètres, et une épaisseur de 1m,50 à 3m,60 (1). En plusieurs endroits il recèle des os et dents du Mammouth de Sibérie (*El. primigenius*), et le Rhinocéros du même pays (*R. tichorhinus*), avec des restes osseux de Renne, Cheval et autres quadrupèdes.

Récemment aussi (1855) furent déterrées trois têtes fossiles, que le professeur Owen rapporte au Buffle musqué (*Bubalus moschatus*), habitant bien connu des régions arctiques ; l'une de ces têtes a été trouvée à Maidenhead, dans la vallée de la Tamise, et les deux autres, dans le gravier du même âge près de Batheaston, vallée de l'Avon.

On avait déjà rencontré le Buffle musqué, il y a environ vingt ans, dans un faubourg de Berlin, sur la colline appelée le Kreusberg ; il était enfoui au sein d'un dépôt de Transport du Nord, avec l'Éléphant et le Rhinocéros de Sibérie, et des espèces de cheval, daim et bœuf (2).

Parmi les mammifères fossiles d'une autre localité, mais dans le même genre de formation du nord de l'Allemagne, le docteur Hensel, de Berlin, a recueilli, près de Quedlinburg, le Lemming de Norwége, *Myodes lemmus*, et une autre

(1) Prestwich, *Geol. Quart. Journ.*, vol. XII, p. 131.

(2) On me fit voir, au musée de Berlin, en 1856, une portion de crâne du *Bubalus moschatus*, qui fut précisément ainsi nommée dans le catalogue du musée pour 1837 (année postérieure à sa découverte) par M. le professeur Quenstedt, qui en était, à cette époque, le curateur. Les fossiles du Kreusberg sont énumérés dans le *Journal de Leonhard et Bronn*, 1836, p. 215.

espèce de la même famille, dénommée par Pallas *Myodes torquatus* (par Hensel *Misothermus torquatus*); c'est un quadrupède encore plus septentrional, et que Parry a signalé vers la latitude de 82°; il ne s'avance jamais au Sud plus loin que la lisière Nord de la région boisée. Le professeur Beyrich nous apprend enfin qu'on a découvert, au même endroit, des débris de *Rhinoceros tichorhinus* (1). Le *diluvium*, comme plusieurs géologues l'appellent, n'a jamais fourni dans le nord de l'Allemagne aucun exemple d'Hippopotame, ou de tout autre genre indiquant un climat trop chaud pour le Renne, le Bœuf Musqué ou le Lemming; il devient donc de plus en plus probable que l'association qui a été annoncée du Mammouth (*E. primigenius*) de la vallée de la Tamise, à l'Hippopotame et au Singe (*Macacus Pliocœnus*), et le mélange semblable d'os et de dents des *Rhinoceros tichorhinus* et *leptorhinus* dans les falaises de Norfolk, sont dus à la confusion que l'on aurait faite de fossiles de différents dépôts et âges, ou bien à un mélange de débris de plus d'une période, produit par des causes naturelles.

M. le professeur Owen fait la remarque que le buffle musqué étant appelé, par sa constitution, à vivre dans les régions les plus reculées du nord de l'Amérique, il est bien permis de douter que ses compagnons d'autrefois, le Mammouth, si chaudement vêtu, et le Rhinocéros bicorne (*R. tichorhinus*), couvert de laine, furent, au contraire, destinés à un climat chaud (2).

Maintenant, à quelle division précise de la période Pliocène doit-on rapporter les animaux des cavernes en Angleterre? C'est là encore un sujet de discussion. Jusqu'à présent aucun fait que je sache n'autorise à supposer qu'il y en ait de plus anciens que le Crag de Norwich; grand nombre de cavernes sont restées ouvertes aux époques glaciaire et post-glaciaire, pendant que la faune changeait graduellement; aussi les

(1) *Zeitschrift der Deutsch. Geol. Gesellschaft*, vol. VII (1855), p. 548, etc.
(2) *Geol. Quart. Journ.*, vol. XII, p. 124.

débris qu'elles contiennent ne se rapportent-ils pas toujours à des quadrupèdes strictement contemporains.

J'ai signalé (p. 280, t. I) des restes d'éléphant dans les faubourgs de Rome, et j'ai rapporté ces restes à l'*E. primigenius*; mais, d'après le docteur Falconer, on ne posséderait encore aucune preuve certaine de l'existence de cette espèce au sud des Alpes. Les échantillons de Monte Mario et d'autres localités des environs de Rome appartiendraient, suivant l'opinion de cet auteur, à l'*E. antiquus*, Falc., et à l'*E. meridionalis*, Nesti; ceux-ci, en Piémont et en Lombardie, se rapporteraient à la même espèce, ainsi que l'*Elephas priscus*.

OU TRACER LA VÉRITABLE LIGNE DE DÉMARCATION ENTRE LES COUCHES TERTIAIRES MIOCÈNES ET ÉOCÈNES? (T. I, p. 186, 280 et 294.)

Classification des couches Miocènes et Éocènes. — Ligne de démarcation à établir entre l'Éocène Supérieur et le Miocène Inférieur. — Motifs qui ont fait proposer un changement de nomenclature. — Coquilles et quadrupèdes fossiles des collines Sewâlik ou sub-Hymalayennes.

J'ai dit dans le chapitre XV (p. 294, t. I) que plusieurs géologues éminents considéraient les Sables Marins de la Forêt de Fontainebleau, et leurs équivalents d'âge en Belgique, en Allemagne et ailleurs, comme la base de la division Miocène de la grande série Tertiaire. Conformément à cette opinion, j'ai introduit dans le tableau (p. 170, t. I) le nom de *Miocène Inférieur*, synonyme très usité sur le Continent pour désigner les couches de cet âge que j'appelle *Eocène Supérieur*. Il serait oiseux de développer à nouveau les motifs déjà exposés d'une manière si détaillée dans le corps de l'ouvrage, qui nous ont déterminés, feu professeur Forbes et moi, à adopter cette classification avec sa nomenclature : nous l'avons préférée à celle qui place dans la même division, d'une part les Faluns de Touraine (que j'avais d'abord choisis comme le type du Miocène), et d'une autre part une faune

aussi distincte que celle des Sables de Fontainebleau ; cette dernière faune ne contient pas d'espèces de coquilles communes aux *Faluns*, et elle offre de très grands rapprochements, quant à ses fossiles, avec celle de l'Eocène type. J'ai toutefois fait une réserve (pages 298 à 300, t. I) en disant que je ne résistais point d'une manière absolue à la nécessité possible de comprendre un jour les dépôts ci-dessus mentionnés en une seule et même période Miocène, dans le cas surtout où l'on découvrirait des preuves quelque peu évidentes de liens existants entre les Sables de Fontainebleau, ou Lits du Limbourg, et les Faluns de Touraine.

Ces deux dernières années ont certainement été signalées par quelques progrès tendant à combler l'immense hiatus qui d'abord séparait le *Miocène Inférieur* (ainsi nommé) des *Faluns* ; d'un autre côté, le système Eocène devient tellement complexe et compliqué dans ses détails, par l'intercalation incessante de nouvelles formations, et par l'addition, au-dessous de sa première base, des Sables de Thanet et du Landénien Inférieur de Belgique, que le besoin de limiter son étendue vers sa limite supérieure est de plus en plus urgent. D'autre part, dans les Sables de Thanet, la faune testacée est presque aussi différente de l'Argile de Barton que les coquilles des Sables de Fontainebleau le sont des fossiles des Faluns ; de telle sorte que si nous comprenons les lits de Thanet et de Barton dans une seule période Eocène, nous pourrons, presque avec autant de droit, classer les faunes de Fontainebleau et des Faluns dans un seul et même grand système Miocène.

M. le professeur Beyrich a signalé dans un mémoire récemment publié sur les couches tertiaires du Nord de l'Allemagne (1) l'existence d'une longue série de couches marines conduisant presque graduellement des équivalents du Limbourg Inférieur, ou Tongrien de Dumont, à d'autres rapprochés pour l'âge des Faluns de la Loire. Ce savant a donc cru

(1) *Abhandlungen der Königl. Acad. der Wissen. zu Berlin*, 1855.

devoir introduire un terme nouveau, celui d'*Oligocène*, pour désigner l'ensemble des couches intermédiaires entre l'Eocène et le Miocène ; il distribue ces couches en sept sous-divisions, chacune caractérisée par un certain nombrede fossiles particuliers ; il rapporte la division la plus supérieure, ou ses *lits de Hernberg*, à l'*Oligocène Supérieur*, les cinq divisions suivantes, entre autres les Limbourg Supérieur et Moyen, à l'*Oligocène Moyen*, et le reste à l'*Oligocène Inférieur*, y compris le Tongrien Inférieur de Dumont, et le Lignite d'Allemagne, étage le plus inférieur de tout le système.

M. Alcide d'Orbigny avait déjà, en 1852, dans sa *Paléontologie*, considéré tous ces lits *Oligocènes* comme la division la plus inférieure des Faluns, les Faluns de la Loire étant pour lui du Falunien Supérieur. Le docteur Sandberger a, dernièrement, par ses écrits sur les fossiles du bassin de Mayence, fait ressortir plusieurs chaînons qui existeraient entre les lits communément appelés Miocène Inférieur, et ceux des formations qui les surmontent, contemporaines des Faluns de Touraine. M. Raulin, aussi, dans un mémoire qui vient de paraître sur les Faluns de la Gironde (1), donne les noms de Miocène Moyen et Miocène Inférieur aux équivalents des lits de Fontainebleau et du Limbourg, c'est-à-dire aux couches *Oligocènes* du professeur Beyrich, considérant les Faluns de Touraine comme *Miocène Supérieur*.

M. Hébert a publié, en 1855, une carte descriptive de la surface de deux mers tertiaires qui auraient succédé l'une à l'autre dans le bassin de Paris, la première, celle du calcaire grossier, et la seconde, celle des Sables de Fontainebleau ; ces deux mers montrent très peu de coïncidence entre elles, circonstance indiquant que de grands changements géographiques seraient survenus durant le laps de temps qui a séparé les deux époques comparées. Dans l'explication de cette carte M. Hébert développe les motifs qui lui ont fait regarder la zone du *Cerithium plicatum*, ou celle des Sables de Fon-

(1) *Actes de l'Académie de Bordeaux*, 1855.

tainebleau, comme la ligne la plus convenable de démarcation entre les Tertiaires Inférieur et Moyen, c'est-à-dire entre l'Eocène et le Miocène (1). M. Lartet, éminent ostéologiste français, dont les écrits sur les mammifères fossiles sont justement appréciés, a bien voulu me donner un précieux conseil relativement à ce sujet controversé : d'après ses observations, bien que les testacés fossiles des Sables de Fontainebleau montrent une prédominance d'affinité vers la Faune Eocène, et un faible rapport avec les Faluns de Touraine, — le *Calcaire de la Beauce* (d'eau douce) qui recouvre immédiatement les Sables de Fontainebleau, plus, d'autres formations d'eau douce en Auvergne et dans le centre de la France, enfin le bassin de Mayence, ne sauraient être compris dans un seul système Eocène sans violation des principes paléontologiques. Le groupement des mammifères fossiles, observe M. Lartet, perd de son naturel par un tel arrangement, et, non-seulement plusieurs genres, mais encore quelques espèces se trouvent sur les deux côtés d'une ligne arbitraire de démarcation ainsi tracée entre l'Eocène et le Miocène. Par exemple, les genres *Dorcatherium*, *Cainotherium*, *Anchitherium*, *Titanomys*, *Rhinoceros incisivus*, et autres deviennent communs à l'Eocène et au Miocène.

Le professeur Forbes, dans son mémoire posthume sur une formation tertiaire d'origine fluvio-marine de l'île de Wight (2), a signalé, à travers ce dépôt, certaines bandes fossilifères parfaitement tranchées, et répandues dans le sens de la surface de manière à tracer des horizons définis ; parmi ceux-ci, le plus constant, en apparence, est la zone du *Cerithium plicatum* bien marquée dans les tertiaires de France, de Belgique et d'Allemagne, et aussi dans l'île de Wight. En prenant note du lien existant entre cette zone et les formations sous-jacentes, l'auteur continue : « Évidemment il n'existe aucune solution de continuité dans cette

(1) *Bull. de la Soc. géol.*, 1835, t. XII, p. 760.
(2) *Mem. Geol. Survey*, Londres, 1856, p. 99.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA

partie de la série des dépôts tertiaires, et ce serait faire violence aux faits que d'en placer une portion dans l'Eocène, et l'autre dans le Miocène, comme l'ont essayé certains géologues du continent. L'île de Wight fournit le véritable point où l'on pourra établir leurs rapports par des coupes qui ne sauront offrir d'équivoque, et ce point aura une haute importance pour la géologie du continent. »

L'opinion de feu mon regrettable ami, si formellement exprimée dans ce passage en faveur de la classification que j'avais d'abord adoptée, prouve suffisamment à chacun de mes lecteurs que l'ancienne nomenclature s'appuie sur des arguments solides, dont je citerai quelques-uns parmi les principaux : M. Deshayes, dans son chapitre préliminaire du supplément aux *Coquilles fossiles du bassin de Paris* (1), dont la publication a récemment commencé, fait les remarques suivantes : « Tandis que d'un côté la dissemblance est énorme entre les fossiles des Sables de Fontainebleau et ceux des Faluns de la Loire, d'un autre côté la faune des sables précédents s'allie à celle des couches marines inférieures au Gypse de Paris par une prédominance de certains genres de coquilles. » Le savant paléontologiste énumère ces coquilles, et ses observations se trouvent d'accord avec ce que j'ai dit (p. 295, t. I) sur le facies *Eocène* de la faune testacée de ces couches en discussion.

Néanmoins, et malgré le poids de ces arguments ainsi que de plusieurs autres favorables à la classification que j'avais d'abord proposée (Tableau, p. 170, t. I), je crois devoir adopter aujourd'hui la ligne de démarcation généralement admise par les Français, — sous une réserve toutefois, c'est que je ne cesserai pas de considérer cette ligne comme arbitraire, purement conventionnelle, et nullement fondée sur un changement considérable dans les espèces, encore moins sur une révolution qui serait survenue dans la géographie physique du globe à l'époque dont il est question. La nouvelle classifi-

(1) *Description des animaux sans vertèbres*, etc. Paris, 1857, p. 17.

cation a pris naissance en France, et, pour la première fois, elle fut suggérée par une interruption accidentelle qui se remarque dans la succession régulière des couches marines sur l'emplacement même de Paris, c'est-à-dire par l'intercalation, au sein de ces couches, de certaines marnes gypseuses d'eau douce au milieu desquelles gisent des Paléothériums et autres quadrupèdes. La constatation de ces marnes fit séparer les Sables Marins de Beauchamp, souvent appelés *Sables Moyens*, des Sables Marins de Fontainebleau. Dans les pays où l'on ne rencontre pas cette interruption, la série, qu'elle soit composée d'assises d'eau douce, ou fluvio-marines, ou marines, fournit des *lits de passage* entre l'Eocène et le Miocène, comme ceux de Hempstead dans l'île de Wight, ou ceux récemment découverts dans les Alpes par MM. Hébert et Renevier, et décrits par ces deux auteurs dans le *Bulletin de la Société Statistique du département de la Seine* (1854). Leur mémoire intéressant a pour objet la description d'une formation qu'ils appellent le *Nummulitique Supérieur*, laquelle se rencontre aux environs de Gap et aussi dans les Diablerets en Savoie ; au sein de cette formation le *Cerithium plicatum* et autres coquilles qui accompagnent d'habitude cette espèce dans les Sables de Fontainebleau et en Belgique, sont abondamment mêlés avec des espèces fréquentes des Grès de Beauchamp, et même de la portion inférieure du Calcaire Grossier. Ici, par conséquent, au milieu de ces couches élevées à de si hauts niveaux, et si fortement contournées des Alpes, nous avons un exemple de lits marins formant passage à travers la série dont il s'agit, et remarquable sous plusieurs rapports, surtout sous celui de la profusion des nummulites qu'on y trouve, associées à des coquilles caractéristiques des Sables de Fontainebleau. Cette dernière circonstance, c'est-à-dire l'association des fossiles, réduit à néant l'un des caractères que l'on avait d'abord considérés comme distinctifs des assises supérieures et inférieures à la série gypseuse ; en effet, on n'a jamais signalé de nummulites en Belgique, dans les Flandres françaises, en Angleterre ni en

Allemagne, au-dessus de la zone du *Cerithium plicatum*, ou, tout au moins, ne les a-t-on rencontrées qu'en nombre extrêmement limité, et dans des cas exceptionnels. Plusieurs géologues, aussi, ont pensé que l'exhaussement ou mouvement de dislocation principal des Alpes serait survenu précisément entre les Tertiaires Inférieur et Moyen, c'est-à-dire entre les époques Eocène et Miocène, comme on l'admet du reste généralement en France, tandis que l'extrême abondance de coquilles caractéristiques du *Tertiaire Moyen* dans les Diablerets prouverait que les mouvements les plus énergiques dans les Alpes ont eu lieu à une époque postérieure à l'apparition du *Cerithium plicatum* et de plusieurs espèces qui lui furent contemporaines au sein des mers Tertiaires.

Je ne possède pas encore les éléments suffisants pour séparer les couches Miocènes d'Europe en Supérieures, Moyennes et Inférieures, bien que j'entrevoie dans un avenir peu éloigné le moment où cette sous-division deviendra nécessaire et possible. En attendant, je proposerai la modification suivante au Tableau de la page 170, t. I ; cette modification consistera simplement dans la substitution du mot *Miocène Inférieur* à celui de *Eocène Supérieur*, et dans la sous-division de l'Eocène Moyen du même Tableau en deux parties.

Changement proposé au tableau des couches fossilifères de la page 170, t. I.

Périodes et Groupes.	Exemples en Angleterre.	Équivalents étrangers et Synonymes.
		TERRAINS CONTEMPORAINS.
POST-TERTIAIRE.		1. Couches marines, y compris le Temple de Sérapis, à Pouzzoles (*Princ.*, ch. XXIX).
1. POST-PLIOCÈNE.	1. *Récents.* — Tourbe des Iles Britanniques, avec restes humains (*Princ.*, ch. XLV). Plaines d'alluvion de la Tamise, de la Mersey, du Rother, avec débris de vaisseaux (*Manuel*, etc., t. I, p. 194; et *Princ.*, ch. XLVIII). 2. *Post-pliocène.* — Dépôts avec coquilles fossiles d'espèces vivantes, dépourvus, jusqu'à présent, de vestiges humains. Marne coquillière d'Écosse et des lacs d'Irlande.	1. Couches d'eau douce, y compris le temple de Cachemire (*Ibid.*, 9e édition, p. 702). 2. Tuff volcanique d'Ischia et de Naples, avec espèces vivantes de coquilles marines, et, jusqu'à présent, sans débris humains (*Manuel*, etc., t. I, p. 189). 2. Partie plus récente de la Formation de Transport de Suède, avec coquilles d'eau saumâtre d'espèces vivant aujourd'hui dans la Baltique (*Manuel*, etc., t. I, p. 209).

Périodes et Groupes.	Exemples en Angleterre.	Équivalents étrangers et Synonymes.
TERTIAIRE PLIOCÈNE.		TERRAINS TERTIAIRES.
2. **PLIOCÈNE NOUVEAU ou PLEISTOCÈNE.**	1. *Glaciaire.* — Drift, ou Formation de Transport, avec débris d'*Elephas primigenius*, et coquilles presque toutes d'espèces vivantes. Gravier ocreux de la vallée de la Tamise (*Manuel*, etc., t. I, p. 248; et *suppl.*, p. 7). Dépôts glaciaires de la Clyde (*Man.*, t. I, p. 211); de la Galles du Nord (*Ibid.*, p. 249). 2. Dépôts *pré-glaciaires* de Grays, Thurrock et Ilford (vallée de la Tamise), avec *Elephas antiquus*, Falc., et coquilles presque toutes d'espèces récentes (*Man.*, t. I, p. 248; *suppl.*, p. 7). 3. Crag de Norwich, avec coquilles marines (85 pour 100 d'espèces récentes) (*Man.*, t. I, p. 250, et *supp.*, p. 5). Dépôts des cavernes en Angleterre, principalement du Nouveau Pliocène (*Man.*, t. I, p. 258).	Terrain Quaternaire, Diluvium. Terrains Tertiaires Supérieurs (*Man.*, t. I, p. 222). 1. Transport Glaciaire du Nord de l'Europe (*Man.*, t. I, p. 208); des États-Unis (*Ibid.*, p. 225); erratiques des Alpes (*Ibid.*, p. 236). 3. Calcaire de Girgenti (*Man.*, t. I, p. 250). Brèches osseuses des cavernes d'Australie (*Ibid.*, p. 260).
3. **PLIOCÈNE ANCIEN.**	1. Crag Rouge de Suffolk (*Man.*, t. I, p. 270, 274; et *supp.*, p. 1 à 7). 2. Crag Corallin de Suffolk (*Ibid.*, t. I, p. 270, 274; et *supp.*, p. 1 à 7).	Couches Sub-Apennines (*Man.*, t. I, p. 278). Collines de Rome, Monte-Mario, etc. (*Ibid.*, p. 280, et t. II, p. 334). Anvers, et Crag de Normandie (*Ibid.*, t. I, p. 278). Dépôts Aralo-Caspiens (*Ibid.*, p. 280).
MIOCÈNE.		TERRAINS TERTIAIRES MOYENS.
4. **MIOCÈNE SUPÉRIEUR.**	Manque dans les Iles Britaniques.	Faluns de Touraine, t. I, p. 281. Couches de Bolderberg, en Belgique, t. I, p. 285. Sansan (département du Gers), midi de la France. Bassin de Vienne, t. I, p. 286.
5. **MIOCÈNE INFÉRIEUR.**	Couches de Hempstead, Ile de Wight, t. I, p. 307.	Grès de Fontainebleau, t. I, p. 310. Calcaire de la Beauce, t. I, p. 310. Bassin de Mayence, t. I, p. 304. Lits du Limbourg, en Belgique, t. I, p. 301. Couches *Oligocènes* du nord de l'Allemagne. Couches de Nebraska, aux États-Unis, t. I, p. 327.
ÉOCÈNE.		TERRAINS TERTIAIRES INFÉRIEURS.
6. **ÉOCÈNE SUPÉRIEUR.**	1. Lits de Bembridge, Ile de Wight, t. I, p. 330. 2. Série d'Osborne, t. I, p. 333. 3. Série de Headon, *Ibid.* 4. Argile de Barton, t. I, p. 336.	1. Série Gypseuse de Montmartre, t. I, p. 351. 2 et 3. Calcaire Siliceux, ou Travertin Inférieur, t. I, p. 354. 4. Grès de Beauchamp, ou Sables Moyens, t. I, p. 355. 4. Couches de Laeken, en Belgique.

Périodes et Groupes.	Exemples en Angleterre.	Équivalents étrangers et Synonymes.
7. ÉOCÈNE MOYEN.	1. Lits de Bagshot et de Bracklesham, t. I, p. 338. 2. Manque en Angleterre !	1. Calcaire Grossier du Bassin de Paris, t. I, p. 355. 2. Sables du Soissonnais, Supérieurs, de Cuisse-la-Motte, t. I, p. 358. 1. 2. Formation Nummulitique d'Europe, d'Asie, etc., t. I, p. 359.

8. **ÉOCÈNE INFÉRIEUR**, comme dans le Tableau, t. I, p. 169.

FAUNE MIOCÈNE DES COLLINES SEWALIK, p. 292, t. I.

Le genre *Dinotherium*, si caractéristique de la période Falunienne ou Miocène Supérieure d'Europe, se rencontre dans l'Inde au sein de couches du même âge. Mais, jusqu'à présent, on ne l'a signalé que dans l'île Périm, Golfe de Cambay, et jamais parmi les fossiles des Collines Sewâlik ou Sub-Hymalayennes, comme je l'avais à tort avancé (p. 292, t. I). J'ai mentionné aussi au même endroit sept espèces d'éléphants fossiles des Sewâlik ; en réalité, leur nombre n'est que de cinq, dont trois se rapportent, d'après le docteur Falconer, au sous-genre *Stegodon*, intermédiaire entre le Mastodonte et l'Éléphant. L'Hippopotame que j'ai cité (même page, 292) appartient au sous-genre *Hexaprotodon*, forme aujourd'hui éteinte. L'*Anoplotherium posterogenium* que l'on supposa, au moment de sa découverte, présenter un lien générique entre la faune Sewâlik et celle de la période Eocène, est actuellement considéré comme une espèce de *Chalichoterium* (*Anisodon* de Lartet), genre de pachyderme formant passage du *Rhinoceros* à l'*Anoplotherium*. Ce même genre se rencontre dans les couches Miocènes ou Faluniennes de Sansan, département du Gers, midi de la France. Parmi les fossiles Sub-Hymalayens, on peut citer une Girafe, un Chameau, une grande Autruche comme preuve de l'existence primitive de plaines étendues sur une région aujourd'hui couverte de collines escarpées et sillonnées de profonds ravins sur plusieurs centaines de kilomètres Est et Ouest.

Sir P. Cautley et le docteur Falconer ont extrait des mêmes couches quinze espèces de coquilles d'eau douce se rappor-

tant aux genres *Paludina*, *Melania*, *Ampullaria* et *Unio*; feu le professeur E. Forbes, à l'inspection de ces coquilles, déclara, en 1846, que toutes étaient d'espèces éteintes ou inconnues, à l'exception de quatre habitant encore les rivières de l'Inde. Une telle proportion entre des espèces vivantes et des espèces éteintes de mollusques s'accorde bien avec le caractère habituel d'une faune Miocène Supérieure ou Falunienne que l'on observeerait en Touraine, ou dans le bassin de Vienne et ailleurs.

SINGE DE GRANDE TAILLE, MIOCÈNE, DU MIDI DE LA FRANCE.

Il y a plus de vingt ans, un singe fossile du nom de *Pliopithecus antiquus*, voisin de l'Orang, fut recueilli dans un dépôt d'eau douce du terrain Miocène supérieur à Sansan, midi de la France, et signalé par M. Lartet. Ce géologue éminent a de plus, récemment (1856) fait connaître la découverte, au sein du même gisement, d'une nouvelle espèce fossile de la famille des Orangs, de taille supérieure à celle du Chimpanzé vivant (1). Les seules parties du squelette trouvées jusqu'à ce jour sont les deux branches d'une mâchoire inférieure, et un humérus; mais ces débris suffisent pour indiquer par leur structure anatomique aussi bien que par leurs dimensions une espèce se rapprochant de l'Homme plus qu'aucune autre parmi les Quadrumanes vivants ou fossiles jusqu'à présent connus des zoologistes. L'angle formé par la branche montante de la mâchoire et le bord alvéolaire est moins ouvert que dans le Chimpanzé, et, circonstance fort remarquable, chez le fossile, individu jeune mais adulte, toutes les dents de lait sont remplacées par celles de second âge, tandis que les dernières vraies molaires ne sont pas développées, ou ne se montrent qu'à l'état de germe dans le

(1) *Comptes rendus*, etc., 28 juillet 1856.

maxillaire. Par conséquent, d'après l'ordre de succession des dents, et d'après leur nombre qui compte exactement comme chez l'Homme, le quadrumane différait du Chimpanzé, et correspondait à l'espèce humaine. Mais cette dernière particularité dans la dentition, considérée comme point de ressemblance avec l'Homme, et isolément des autres caractères, perd beaucoup de son importance par le fait que chez le Gibbon, aussi, les dents sont soumises à une loi semblable de renouvellement ; et de fait, suivant l'opinion de MM. Vrolich et Lartet, le Gibbon, par son squelette en général, se rapprocherait du type humain bien plus que tout autre singe. Le *Dryopithecus* paraît avoir été frugivore ; il grimpait aux arbres, de là son nom. Les troncs de chêne sont communs dans le lignite de Saint-Gaudens, au pied des Pyrénées, et c'est dans ce gisement qu'il a été découvert. La même formation a fourni d'autres mammifères fossiles spécifiquement identiques à ceux de Sansan et des Faluns de Touraine, de telle sorte qu'on peut la rapporter sans hésitation à la période Miocène Supérieure. C'est au même âge qu'il faut attribuer un singe fossile trouvé en 1854 à Pikermi près d'Athènes, et nommé par Wagner *Mezopithecus Pentelicus*, mais assimilé par M. Lartet au genre vivant *Semnopithecus*.

Ces faits nous font voir combien il nous reste encore à apprendre sur l'histoire ancienne des Quadrumanes, surtout si nous songeons que, sous le rapport géologique, nous connaissons fort peu, comparativement, les contrées tropicales, où cependant il faudrait s'attendre à rencontrer en plus grand nombre que partout ailleurs des vestiges de genres anthropomorphes éteints. Si des couches aussi anciennes que le Miocène ont pu nous révéler des formes jusqu'à un certain point intermédiaires entre le Chimpanzé et l'Homme, ne sommes-nous pas en droit de présumer qu'un jour d'autres couches d'une date plus ancienne ou plus moderne fourniront également de nouveaux anneaux ostéologiques entre l'Homme et le *Dryopithecus*.

DÉNUDATION DU WEALD. (Chap. XIX, p. 421, 441, t. I.)

Dénudation du Weald. — Découverte de Crag Inférieur au sommet des Downs du Nord, entre Folkestone et Dorking.

Les arguments que nous avons réunis dans le chapitre XIX, pages 421 à 441, t. I, pour prouver que la dénudation de la surface du Weald avait eu lieu à plusieurs époques, et à des dates très éloignées entre elles, quelques-unes antérieures au dépôt des couches Eocènes Inférieures d'Angleterre, et d'autres remontant jusqu'à l'ère Pliocène, ces arguments ont reçu une éclatante confirmation par une découverte récente. M. Prestwich a signalé à la Société Géologique de Londres (janvier 21, 1857) l'existence de sables marins de la période du Crag au sommet des Downs du Nord, sur différents points entre Folkestone et Dorking. Ces sables contiennent des bandes de grès chargé de fer et de sable quartzeux, avec cailloux roulés de silex, et, parfois, une terre verte, — le tout ressemblant précisément, par le caractère minéral, aux sables de Diest, en Belgique, lesquels ont été pendant longtemps regardés comme correspondant par l'âge avec le Crag ancien de Suffolk.

La *Terebratula grandis*, qui abonde dans le Crag anglais et parmi les sables de Diest, des moules aussi d'*Astarte*, *Pyrula*, *Emarginula* et d'autres fossiles, concourent, avec le caractère minéral, à prouver la contemporanéité d'origine de ces assises Anglaises et Belges.

Depuis que ces faits ont été portés à la connaissance du public, j'ai visité les principales localités dans le Kent, en société de M. Prestwich, et j'ai vu les sables ferrugineux, de 6 mètres d'épaisseur, reposant sur la craie près du bord de l'escarpement, à 2 kilomètres environ Nord-Est de Folkestone, et de nouveau à Paddlesworth, au sommet de Downs, 6 kilomètres O.-N.-O. de Folkestone, où les sables mesurent près de 12 mètres de puissance et s'élèvent à une hauteur de plus de 150 mètres au-dessus de la mer. A Lenham, 16 kilomètres

Est de Maidstone, on remarque des débris de lits ferrugineux plus solides remplis de moules de coquilles marines et d'autres fossiles, sous forme de tuyaux (*sandpipes*) verticaux qui pénètrent au travers de la craie blanche. J'ai vu là des restes organiques ressemblant d'une manière frappante à ceux que j'avais déjà observés en 1850 à Kesseloo, près de Louvain, dans les *Sables de Diest*, et qui dans cette localité surmontent les couches du Limbourg ou Miocènes Inférieures (1). Le rapprochement que fournissent entre eux les moules de Belgique et du Kent se rapporte principalement aux genres ; mais quelques-unes des espèces, telles qu'une grosse térébratule et un *Turbinolia*, paraissent elles-mêmes identiques.

Le lecteur se fera une idée de la vraie position des couches du Kent en les supposant placées sur les hauteurs marquées par la ligne fortement accentuée au-dessus de la figure 3, dans la coupe 321 (p. 423, t. I) ; ou bien il imaginera que l'affleurement tertiaire *b*, figure 329 (p. 435, t. I), consiste en Crag Corallin au lieu d'être une masse d'argile et sable Éocène.

La conséquence à déduire de ces faits découle d'elle-même : bien que le premier exhaussement Wealdien se soit opéré, comme nous l'avons vu dans le chapitre XIX, vers les premiers temps de l'Eocène, ou, en partie peut-être, pendant la période crétacée, et que d'un autre côté la dénudation ait été, à cette époque, considérable, la même surface a néanmoins subi une submersion nouvelle durant la période du Vieux Pliocène ; mais déjà avait eu lieu la dévastation elle-même large et profonde des dépôts Eocènes Inférieurs des séries de Thanet, de Wolwich et de l'Argile de Londres, et leur réduction à l'état de simples lambeaux disséminés sur la craie. Cette dernière dénudation, par conséquent, aussi bien que les escarpements actuels, date d'un âge où la mer était déjà peuplée d'espèces de mollusques dont la moitié vivent encore

(1) Lyell, *Quart. Geol. Journ.*, vol. VIII, p. 293.

de nos jours. Le grand exhaussement du sol de la surface wealdienne ayant donc été postérieur au Crag Inférieur, cette circonstance, comme l'observe M. Prestwich, doit nous aider à expliquer les différences observées dans la faune et le climat des périodes successives très multiples du Crag (voyez ci-dessus, *Suppl.*, p. 1 à 4); nous pouvons aussi dès aujourd'hui admettre, avec plus de confiance, que la mer du Crag Corallin était ouverte au Sud, et nourrissait des coquilles de formes méridionales, jusqu'à ce que le lit de cette mer venant à s'élever de 150 à 180 mètres, toute communication avec des latitudes plus chaudes fut interrompue, et la faune du Crag Rouge acquit son caractère plus septentrional.

Ces découvertes récentes nous apprennent aussi combien il est souvent difficile, pour ne pas dire impossible, de démontrer la présence primitive de la mer sur toute surface donnée, au moyen des débris organiques, ou d'anciens rivages. De longues et minutieuses recherches ont été poursuivies avant 1856 pour reconnaître des coquilles marines d'espèces récentes ou du Crag, et découvrir des lignes de séjour d'eaux salées, à la surface du Weald; en d'autres termes, des études approfondies ont été faites des nos 3, 4, 5, 6 et 7 de la carte (p. 421, t. I), puis de la Craie, et enfin du terrain Tertiaire entre le Weald et la Tamise (nos 1 et 2, *ib.*); mais, recherches et études ont été vaines jusqu'au moment où quelques moules de coquilles ont prouvé tout à coup, d'une manière incontestable, que la mer du Vieux Pliocène y avait jadis, là, étendu son domaine. Nous devons donc aujourd'hui admettre que la retraite des eaux de cette mer eut lieu à une époque comparativement moderne, et qu'à plusieurs reprises le sol baissa, puis émergea de nouveau, sans conserver à sa surface aucun monument de la nature de ceux que l'on invoque habituellement pour établir une dénudation marine ayant apporté des changements considérables dans la géographie physique du globe.

NOUVEAUX MAMMIFÈRES FOSSILES DU PURBECK OU COUCHES OOLITIQUES SUPÉRIEURES, DANS LE COMTÉ DE DORSET.

Découverte, dans le Dorsetshire, de sept ou huit nouveaux genres de mammifères, au sein des couches du Purbeck ou Oolite supérieure. — Premier exemple de crâne d'un mammifère au sein de roches secondaires. — Marsupiaux et Placentaires insectivores, et Marsupiaux herbivores. — Figures et descriptions. — Nouveau jour jeté sur le *Microlestes*, ou mammifère triasique le plus ancien. — Portée générale des nouveaux faits.

Comme nous l'avons vu (p. 213, t. II), au moment où parut la cinquième édition de cet ouvrage on ne connaissait encore que six espèces bien constatées de mammifères au sein des roches plus anciennes que le terrain Tertiaire. Il a fallu trente-six années de recherches pour réunir ces six espèces : en 1818, la première fois, une mâchoire inférieure, qui avait été trouvée dix ans auparavant dans l'Oolite de Stonesfield, fut rapportée par Cuvier à un mammifère; en 1854 Owen décrivit le *Spalacotherium* du Purbeck.

Nous avons donné (p. 37, t. II) les figures de deux petites dents molaires du plus ancien de ces six quadrupèdes, du *Microlestes* de Plieninger, provenant d'un lit à ossements des environs de Stuttgart généralement considéré comme Trias Supérieur, et au sein duquel abondent des espèces Triasiques de poissons et de reptiles. Dans la même page sont aussi figurées des mâchoires inférieures fossiles munies de leurs dents, se rapportant à trois petits mammifères recueillis dans l'oolite inférieure de Stonesfield (p. 478, t. I), et supposés appartenir à des insectivores, l'un d'eux, au moins, à un quadrupède de la division des Marsupiaux. Enfin, j'ai signalé dans une note (p. 215, t. II) la découverte faite par Rév. J.-B.-P. Dennis, et connue en septembre 1854, de débris d'un quatrième mammifère anglais, constituant également une mâchoire inférieure, et extraits de la même localité.

Bien que petite, cette mâchoire ne fit pas moins connaître des dimensions beaucoup plus grandes qu'aucune des trois espèces jusqu'alors connues ; elle indiquait la grosseur probable d'un lapin. Le professeur Owen pense que l'animal auquel elle se rapporte était omnivore, et représentait l'un de ces quadrupèdes ongulés ou à sabot qui se lient à certains genres éteints de la période tertiaire, appelés *Hyracotherium*, *Microtherium* et *Hyopotamus*.

Il est fait mention (p. 456, t. I, et p. 213, t. II) de la découverte du premier exemple d'un mammifère, au sein de couches d'eau douce, dans le Purbeck du Dorsetshire ; cette découverte date de 1854 ; l'animal est un *Spalacotherium*, insectivore de petite taille, voisin de la Taupe du Cap. A une date plus récente, en décembre dernier (1856), M. Samuel H. Beckles, membre de la Société Géologique de Londres, me fit part de l'intention où il était de pratiquer des fouilles au sein du Purbeck Moyen de Durlestone-Bay, près de Swanage, et d'explorer spécialement le lit qui avait fourni à M. Brodie le *Spalacotherium*. La puissance moyenne de ce lit, désigné sous le n° 93, ou *dirt bed* (lit de boue) est de 0^{m},12 environ (1). Il gît à la base du Purbeck Moyen, et consiste en marne friable ou limon calcaire contenant des débris de quelques insectes et des coquilles d'eau douce de plusieurs genres (*Paludina*, *Planorbis* et *Cyclas*), ainsi que divers reptiles. Comme résultat de son second jour de fouilles (11 décembre), M. Beck m'adressa une mâchoire inférieure de mammifère d'un nouveau genre ; ce résultat fut bientôt suivi de plusieurs autres, et, dans l'espace de trois semaines on obtint d'une surface ne dépassant pas 12 mètres de long sur 3 mètres de large les débris de cinq ou six espèces nouvelles

(1) Ce lit, ou *dirt-bed* (ainsi nommé en Angleterre) est désigné sous le n° 93, soit dans le *Guide to the Geology of the Isle of Purbeck*, par Rév. G.-H. Austen (1852), soit dans le *Mémoire sur les couches du Purbeck* (*Trans. Camb. Phil. Soc.*, vol. LX, 1855). Il ne présente point les caractères d'un sol végétal ancien, comme son nom porterait à le croire.

appartenant à trois ou quatre genres distincts de grosseur variable, depuis celle d'une taupe à celle d'un hérisson ; on déterra de plus le squelette entier d'un crocodile, le têt ou carapace d'une tortue d'eau douce, et quelques reptiles plus petits. Pendant que ces recherches étaient en voie de progrès, M. W. R. Brodie, de Swanage, eut la bonté de m'envoyer d'autres fossiles qu'il avait extraits depuis deux ans (1855 et 1856) du même lit, sur une surface contiguë et non moins limitée. Outre des débris de reptiles, je distinguai parmi ces objets trois mâchoires inférieures de trois espèces de mammifères, et le docteur Falconer me fit remarquer dans un bloc la portion supérieure d'une tête, soit deux os pariétaux, en bon état de conservation, avec la crête sagittale bien accentuée, et les rapports aux frontaux et à la crête occipitale distincts ; quoique les portions de la base et des côtés manquent dans la pièce, ce qui en reste suffit pour montrer des liens avec le type ordinaire des quadrupèdes vivants à sang chaud, et impliquer la probabilité d'une organisation plus élevée que celle des genres de Stonesfield, *Phascolotherium* et *Amphitherium*. Cependant le spécimen ne fournit pas de caractères assez concluants pour que l'on puisse savoir si l'animal appartenait aux Placentaires, ou bien aux Marsupiaux. L'un des résultats les plus importants de la découverte, c'est qu'elle nous fournit le premier exemple bien constaté d'un crâne de mammifère au sein de roches inférieures au Tertiaire ; jusqu'à présent, en effet, on ne connaissait de tout le squelette de cette classe, à l'état fossile, que le maxillaire inférieur. Cette découverte prête ainsi à l'ostéologiste un genre de preuves beaucoup plus concluantes qu'aucune de celles qui avaient été auparavant invoquées pour établir l'exacte correspondance de structure des mammifères d'une époque très reculée avec les types plus récents de vertébrés vivants.

Le même bloc a fourni, avec le crâne, un côté entier de la mâchoire inférieure d'un quadrupède auquel le professeur Owen propose le nom générique de *Triconodon*. Cette portion de mâchoire porte huit molaires, une forte canine

très proéminente, et une incisive large et épaisse. L'animal avait presque la taille du hérisson commun (1).

Plusieurs autres mâchoires munies de dents pareillement tricuspides, mais à plus grandes dimensions, recueillies par M. Beckles, constatent l'existence d'une autre espèce de *Triconodon*, d'une forme plus allongée, et d'environ un tiers plus grande. Sur l'une de ces mâchoires, le docteur Falconer m'a fait remarquer les caractères suivants qui, pour lui, indiqueraient des Marsupiaux : 1° pluralité des vraies molaires ; 2° processus angulaire infléchi, très fort ; 3° (caractère pour lui le plus significatif de tous) largeur et saillie du bord renversé de la crête, qui est décurrente sur le côté extérieur, le long du bord inférieur, à partir du condyle, exactement comme cela s'observe chez les Marsupiaux carnivores ; 4° développement marqué du sillon mylo-hyoïde. Le docteur Falconer ajoute que ces deux espèces de *Triconodon*, si l'on en juge d'après la forme tranchante des dents, d'après aussi le développement des canines relativement considérable, enfin d'après les particularités de la branche montante, étaient plutôt de petits carnassiers que de simples marsupiaux insectivores. Il est probable qu'ils se nourrissaient de proies moins exiguës que des insectes.

Parmi les mâchoires de plusieurs petits insectivores, on en remarque une qui se rapproche du type de Stonesfield, *Amphitherium*, mais qui s'en distingue génériquement (2).

(1) Les couronnes comprimées des molaires inférieures, dans ce *Triconodon*, sont munies chacune de trois pointes aiguës presque égales s'élevant verticalement à peu près dans un même plan longitudinal, avec lobules terminaux à la base, mais sans autre complication à l'intérieur. Elles sont disposées en série continue et compacte, de manière à présenter un bord dentelé uniforme, comme les dents d'une scie. — *Docteur Falconer.*

(2) Dans cette espèce, la branche montante de la mâchoire inférieure est plus déliée ; elle montre 7 arrière-molaires uniformes encore en place, puis les alvéoles vides de 4 ou 5 fausses molaires, enfin une dent en forme de lanière (*laniariform*) proéminente. La formule dentaire s'accorde avec celle de l'*Amphitherium*, mais elle en diffère par la disposition bisériale et complexe des pointes de la couronne. — *Docteur Falconer.*

Voici sur le genre *Triconodon* quelques observations faites par le professeur Owen ; je les extrais d'une lettre qu'il m'a écrite le 27 janvier 1857 ; elles sont importantes, surtout par leur antériorité aux preuves plus positives que des échantillons mieux conservés ont fournies, environ un mois plus tard, en faveur du caractère décidément marsupial de ces animaux.

« Le fossile de Purbeck (le plus petit des *Triconodon*) est très voisin des genres d'insectivores de Stonesfield, et montre une organisation intermédiaire entre le *Phascolotherium* et le *Thylacotherium*. Ses dents franchement coniques présentent le même type que les molaires de ces derniers genres ; mais le premier et le troisième cône sont presque égaux au deuxième ou moyen. Le cingulum (*bourrelet basilaire* ou *collet* de la dent), chez le *Triconodon*, développe le même talon en avant et en arrière. Quant à la grosseur de la canine, ainsi qu'à la hauteur et aux autres dimensions de la mâchoire, le *Triconodon* ressemble au *Phascolotherium*, et le rapprochement, sous ce rapport, entre les deux genres est tel, que l'on ne peut considérer l'un comme appartenant aux Marsupiaux sans rapporter l'autre à la même division. Mais je n'ai pas trouvé d'indication claire de la courbure, qui devrait au contraire ici exister, se dirigeant en dedans vers l'angle de la mâchoire, et se développant en arrière.

» Par le nombre plus grand des molaires, le *Triconodon* ressemble au *Thylacotherium*, et aussi au *Mirmecobius* qui, du reste, a des molaires analogues. Les genres que nous venons de citer, et le *Spalacotherium* possèdent des caractères communs suffisants, au moins quant à la mandibule et aux dents mandibulaires, pour que l'on puisse admettre qu'ils appartiennent tous à un même groupe naturel d'insectivores, et très probablement de la famille des marsupiaux. Le caractère du calvarium chez le *Triconodon* ne s'oppose pas au rapprochement ci-dessus (1). »

(1) Owen fait allusion ici à la couronne du crâne que nous avons citée ci-dessus, et qu'a fournie la même plaque. A la page 456, t. I, j'ai cité l'opinion

Outre les mammifères que nous venons de mentionner, et qui se rapportent à 9 ou 10 espèces, sur 5 ou 6 genres, tous

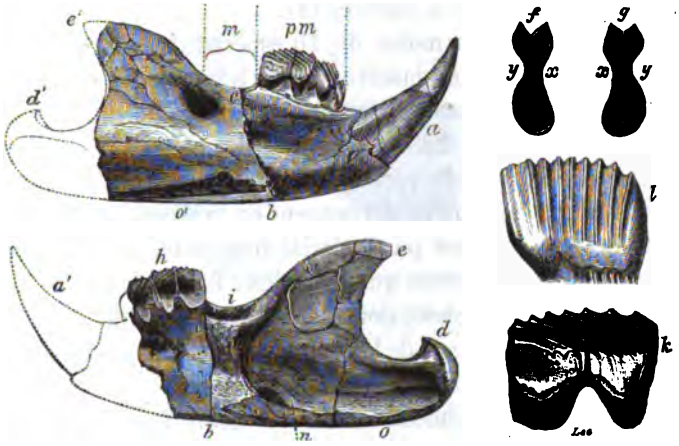


FIG. 1. — *Plagiaulax Becklesii*, Falc.

Les deux figures ci-dessus représentent la branche droite d'une mâchoire inférieure visible sur chacune de ses faces; dans la plaque qui la contient, les caractères réunis de ces deux faces permettent de restaurer complétement la mâchoire.

Figure supérieure (face externe).

a, *b*, *e'*. Branche droite de la mâchoire inférieure, le double de sa grandeur naturelle. *a*, *b*. Côté externe. *b*, *o'*, *d'*, *e'*. Empreinte du côté interne.

a. Incisive. — *b*, *c*. Signe de fracture verticale derrière les prémolaires. — *d'*. Empreinte du condyle sur la pierre qui constitue la gangue. — *e'*. Empreinte du sommet de l'apophyse coronoïde. — *f*. Coupe de la pièce antérieure de la mâchoire suivant la fracture *b*, *c*. — *x*. Surface interne. *y*. Surface externe. (La partie rentrante vers le haut de la fracture correspond à l'alvéole de l'une des vraies doubles-molaires.) — *g*. Coupe de la portion postérieure près *b*, *c*. *x*. Surface interne. *y*. Surface externe. — *o'*. Interruption du pli infléchi du bord interne engagé dans la gangue. — *m*. Alvéoles de deux molaires. — *p*, *m*. Trois prémolaires, la troisième et dernière, fissurée.

Figure inférieure (face interne).

a', *d*. La même portion de mâchoire inférieure sur la face opposée de la pierre. — *b*, *d*, *e*. Face interne. — *b*, *a'*, *h*. Moule et empreinte de la face externe.

a'. Contour restauré de l'incisive. — *b*, *c*. Ligne de fracture verticale. — *d*. Condyle. — *e*. Apophyse coronoïde. — *h*. Empreinte des trois prémolaires sur la gangue. — *i*. Alvéoles vides de deux prémolaires. — *n*. Orifice du canal dentaire. — *o*. Indication du pli relevé et infléchi du bord postérieur interne. — *k*. La troisième, ou la plus grosse prémolaire, 3 fois et 1/2 son diamètre naturel, montrant les 7 sillons en diagonale. — *l*. Prémolaire correspondante chez l'*Hypsiprymnus Gaimardi* vivant de l'Australie, montrant les 7 sillons verticaux, grossie 3 fois et 1/2.

insectivores ou carnassiers, M. Beckles a déterré (le 31 janvier 1857) les débris d'un autre genre extrêmement différent

du savant professeur consignée dans le *Quarterly Journal*, vol. X, p. 431, savoir : que le *Spalacotherium* était *plus étroitement lié aux insectivores placentaires qu'aux insectivores marsupiaux*. Ce jugement, comme on le verra plus loin, doit être aujourd'hui modifié.

de tous les autres, et dont les rapports au Kanguroo-Rat actuel ont été immédiatement reconnus par le docteur Falconer dès son arrivée à Londres (1).

On ne compte pas moins de 10 espèces du genre vivant *Hypsiprymnus*, vulgairement appelé le Kanguroo-Rat, et que M. Waterhouse rapporte aux *Macropodidæ*, ou famille des Kanguroos, lesquels habitent les prairies et les broussailles des *Jungles* d'Australie ; ces animaux vivent de plantes, et surtout de racines, qu'ils découvrent en grattant le sol. Leur dentition présente une particularité frappante, qui les distingue de tous les autres quadrupèdes : l'animal ne possède qu'une grosse prémolaire dont l'émail est creusé de 7 sillons verticaux (voyez *l*, fig. 1 de la prémolaire de l'*Hypsiprymnus Gaimardi* vivant).

La plus grosse prémolaire, dans le genre fossile, montre de même 7 sillons parallèles qui produisent, par leur terminaison, un bord sensiblement dentelé à la couronne ; mais leur direction est diagonale, caractère distinctif qui, selon M. Falconer, doit être considéré comme secondaire (*trivial*) et non comme fondamental (*typical*), c'est-à-dire entraînant une différence de type.

L'obliquité des sillons constituant donc un caractère si tranché du plus grand nombre des dents, le docteur Falconer a proposé, pour les fossiles dont il est ici question, le nom générique de *Plagiaulax*. La forme et les dimensions relatives de l'incisive (*a*, fig. 1 et 2) montrent une similitude non moins frappante avec l'*Hypsiprymnus*. Néanmoins, la courbure de cette incisive vers le haut, qui est plus brusque, surtout dans les plus grandes espèces; d'un autre côté, le nombre et les caractères des autres dents ; enfin, le raccourcissement et la hauteur de la mâchoire, réunis à la projection en arrière

(1) Les détails concernant l'histoire naturelle, l'ostéologie, et les affinités du *Plagiaulax*, que j'expose dans les pages suivantes, sont exclusivement extraits d'un mémoire étendu, par le docteur Falconer, qui sera publié sous peu par la Société Géologique de Londres ; l'auteur en a généreusement mis le manuscrit à ma disposition.

que montre le condyle (*d*, fig. 1), constituent de grandes différences de forme entre le *Plagiaulax* et les Kanguroos-Rats.

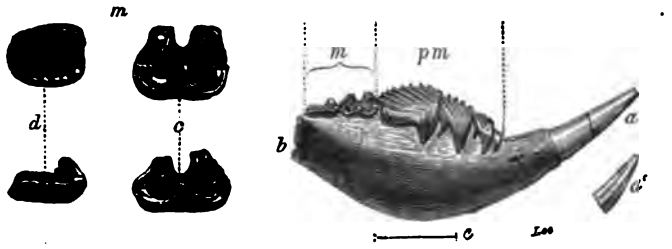


Fig. 2. — *Plagiaulax minor*, Falc., grossi 4 fois.

Les dents sont toutes en place dans cet échantillon, et bien conservées. Il manque seulement la portion postérieure de l'os de la mâchoire, avec la branche montante et l'angle postérieur.

a, *b*. Branche droite de la mâchoire inférieure, avec toutes ses dents, grossie 4 fois. — *a*. Incisive, dont la pointe est brisée. *a'*. Empreinte de l'incisive montrant que le côté interne, près du sommet, était creux longitudinalement. — *b*. Affleurement du coronoïde, le reste manque. — *m*. Les deux vraies molaires. — *p*. *m*. Les quatre prémolaires. — *c*. La première prémolaire, grossie 8 fois (Figure supérieure, sa couronne ; figure inférieure, profil). — *d*. Deuxième molaire, couronne et profil. — *e*. Ligne droite, indiquant la longueur de la mâchoire de grandeur naturelle.

Les seules pièces de ce genre connues jusqu'à présent sont deux échantillons de mâchoire inférieure (1) qui se rapportent évidemment à deux espèces distinctes, de taille très inégale, et différentes, du reste, par d'autres caractères. La plus grande, *P. Becklesii* (fig. 1), avait environ la grosseur d'un écureuil d'Angleterre ou du phalanger volant d'Australie (*Petaurus Australis*, Waterhouse). Le squelette de ce phalanger, étiqueté *P. macrurus*, n° 1849, au Musée du Collége des Chirurgiens, à Londres, mesure $0^{m},37$ de longueur, moins la queue, de plus de $0^{m},27$. Le fossile plus petit (*P. minor*, fig. 2), d'après les dimensions linéaires qu'il a fournies, n'avait probablement que la moitié de la taille de l'autre. Pour le géologue, toutefois, c'est peut-être le plus intéressant des deux, car le docteur Falconer a trouvé dans

(1) Trois autres échantillons de *P. Becklesii* sont arrivés depuis, l'un avec les deux arrière-molaires entières. Ils confirment en tous points les conclusions qui vont suivre, et spécialement celles concernant l'affinité du *Plagiaulax* au *Microlestes*.

ses deux arrière-molaires (*c*, *d*, fig. 2) une ressemblance incontestable avec le *Microlestes* triasique (*b*, *c*, fig. 3).

J'ai donné sur ce mammifère le plus ancien connu (texte, p. 36, t. II) quelques détails accompagnés d'illustrations, mais sans figure de la couronne de la plus grosse molaire ; je l'ajoute aujourd'hui, avec une nouvelle représentation de la couronne de la plus petite dent. Aucun des naturalistes du continent, sur l'inspection des moules et dessins de ces dents, n'avait pu m'indiquer, d'une manière un peu probable, ses affinités. Plieninger l'avait considéré comme un carnassier, et de là le nom qui lui fut assigné ; d'autres crurent voir quelque rapprochement de forme entre les molaires et celles d'un pachyderme omnivore, et même celles d'un insectivore ; le professeur Owen, tout en confirmant le caractère mammifère de ces dents à double racine, avoua que, pour lui, elles étaient différentes

FIG. 3. — Dent de *Microlestes antiquus*, Plieninger, du Trias Supérieur du Wurtemberg.

[*b*. Couronne grossie de la plus petite molaire (*b*, fig. 441, p. 37, t. II). — *c*. Couronne grossie de la plus grosse dent (fig. 442, *ibid.*), dont une portion emportée.

de tous les types connus. A comparer ces molaires de *Microlestes* (fig. 3) à celles du *Plagiaulax minor* (*d*, *c*, fig. 2), on n'a pas de peine à se ranger à l'opinion du docteur Falconer, savoir que : « Si toutes avaient été détachées de la même plaque, on aurait pu les prendre pour des dents antérieures ou postérieures, ou pour des dents supérieures et inférieures de la même espèce ou d'espèces voisines, les caractères essentiels de la couronne étant identiques (1) ; au contraire,

(1) La dernière arrière-molaire, soit dans le *Microlestes*, soit dans le *Plagiaulax*, présente deux crêtes opposées longitudinales, marginales, plus ou moins lobées ou dentelées, et séparées par un disque déprimé. Dans la molaire plus large de *Plagiaulax*, les lobes ne sont point symétriques sur les deux côtés : il y en a deux vers le bord interne, et un, seulement, vers le bord externe, et tel semble avoir été le cas dans la dent plus grosse, incomplète, de *Microlestes* (*c*, fig. 3).

eût-on trouvé la dernière molaire et la dernière prémolaire de *Plagiaulax* à l'état fossile, dans des circonstances semblables, mais sur des points séparés les uns des autres, suivant toute probabilité, on les aurait prises pour des dents non-seulement de genres différents, mais encore d'ordres distincts de mammifères. »

Deux questions principales, observe M. Falconer, se présentent ici relativement au *Plagiaulax* : d'abord cet animal appartenait-il aux Marsupiaux ? en second lieu, était-il herbivore ? La ressemblance générale des dents et mâchoires avec celles des Kanguroos-Rats vivants milite beaucoup en faveur de l'affirmative sur ces deux points. Il existe, comme nous l'avons dit précédemment, dans les fossiles en question, une indication claire de courbure dirigée à l'intérieur ou vers l'observateur, le long du bord postérieur interne de la mâchoire *o*, fig. 1 (la figure inférieure), courbure partant du bord antérieur du trou dentaire *n*. On jugera de l'importance de ce caractère en se rapportant à ce qui a été dit sur le même genre d'inflexion, à propos des mammifères de Stonesfield (t. I, p. 478, fig. 379 à 381). Dans les deux espèces, le nombre des vraies molaires se borne à deux ; cependant, la mâchoire du *P. Becklesii* appartient évidemment à un adulte : elle est munie de toutes ses dents. Un nombre aussi restreint de vraies molaires n'est pas ce que l'on aurait dû attendre chez un quadrupède sensé appartenir aux marsupiaux, car, dans cette tribu, les dents dont il s'agit sont normalement de quatre. En outre, chez les deux espèces, ces dents sont plus petites, en même temps qu'elles sont moins nombreuses.

Dans le Kanguroo-Rat n'existent qu'une seule prémolaire sillonnée, et quatre arrière-molaires, tandis que dans le *Plagiaulax* les vraies molaires étant réduites à deux, il se trouve, pour ainsi dire, par compensation, trois ou quatre prémolaires sillonnées. Dans le tout petit Opossum volant d'Australie (*Acrobata pygmæa*), on remarque un développement analogue de prémolaires, et les arrière-molaires sont

réduites à trois ; le sous-genre *Dromicia*, ou phalanger pygmée, compte quatre prémolaires et trois arrière-molaires seulement. Chez le *Myrmecobius* vivant (1), les vraies molaires dépassent de beaucoup le nombre ordinaire, tandis que dans le *Plagiaulax* fossile, ces mêmes dents sont rudimentaires, et leur nombre est restreint, plus restreint que chez aucun des herbivores placentaires. Il est vrai que, pour la forme générale du coronoïde (*e*, fig. 1), le *Plagiaulax* ressemble plus aux marsupiaux carnassiers, et aux *Dasyurus* spécialement, qu'aux genres des familles herbivores ; mais, d'un autre côté, cet os est moins élevé, et sa surface plus limitée que dans les genres de carnassiers soit marsupiaux, soit placentaires.

Le condyle (*d*, fig. 1), qui se trouve en très bon état de conservation, est remarquable par son abaissement ; ce caractère, considéré isolément de tous les autres, aurait pu être envisagé comme indiquant un carnassier ; mais il est contre-balancé par une autre particularité sans exemple, suivant M. Falconer, chez les animaux de proie marsupiaux ou placentaires : par la longueur du col, et la projection horizontale du condyle *d* en arrière de l'apophyse coronoïde *e*. D'autres indications importantes impliquent un régime végétal : tels sont la surface limitée et le peu d'élévation du coronoïde au-dessus du plan de la dent, le faible développement du bord infléchi, l'absence de processus angulaire épais, la position avancée de l'orifice du canal dentaire (*n*, fig. 1), et la saillie que forme au-dessus de cet orifice le bord replié de la mâchoire inférieure. Ces différents traits, considérés en commun avec ceux de la dent, placeraient le *Plagiaulax* parmi les animaux à régime végétal ; et la position exceptionnelle du condyle peut être une modification spéciale se liant au caractère anormal de la dent, par exemple à l'excessif développement des prémolaires, et à la réduction à la fois du nombre et des dimensions des vraies molaires.

(1) J'ai donné une figure de la mâchoire inférieure de ce quadrupède dans mes *Principes de Géologie*, chap. IX, p. 138, 9e édition anglaise.

« Le caractère du condyle chez le *Plagiaulax*, observe M. Falconer, nous fournit donc un enseignement utile : il nous prévient contre la précipitation trop grande que l'on pourrait mettre à tirer de graves conclusions d'un trait unique de structure, dans une détermination paléontologique. Ce fossile ancien, ajoute le même auteur, est intéressant non-seulement par l'affinité qu'il montre avec le Kanguroo-Rat, mais encore par le témoignage qu'il semble prêter, à quelques égards, en faveur de généralisations récemment émises relativement à l'ordre d'apparition successive des mammifères sur la surface du globe. Suivant certains paléontologistes et anatomistes dont les noms font autorité dans la science, tandis que d'un côté il n'existerait aucune preuve positive établissant le développement progressif de la série, depuis les formes les plus inférieures jusqu'aux plus supérieures en organisation, d'un autre côté il y aurait des motifs plausibles pour croire à un autre ordre de développement, c'est-à-dire à des passages du général au spécial, lorsqu'on s'élève du tertiaire le plus ancien à la période moderne. Les partisans de cette doctrine admettent que les mammifères de la période Eocène, bien plus que ceux des époques postérieures, ont ressemblé à la condition générale archétype et originaire de l'organisation des vertébrés, et qu'ils ont fourni successivement, en montant vers les âges plus rapprochés de nous, des différences qui les ont éloignés de plus en plus du type originaire ou normal, et une spécialisation de plus en plus marquée des fonctions. Entre autres arguments, ces géologues invoquent le fait qu'un grand nombre des mammifères (herbivores ou carnivores) de l'Eocène le plus ancien possédaient l'entier développement du système des dents, tandis que des formes caractéristiques de ces derniers temps, telles que les *Felis* et les *Ruminants*, se font remarquer par la suppression de ces organes. Si la généralisation était réellement applicable autant qu'on l'a prétendu, nous devrions, pour chaque grande famille de mammifères, rencontrer des preuves d'un rapport d'autant plus étroit avec l'archétype, que nous reculerions plus loin vers

les temps. Or le *Plagiaulax*, ou mammifère herbivore le plus ancien jusqu'à ce jour constaté, présente précisément l'exception la plus frappante que l'on puisse rencontrer dans la série entière des marsupiaux fossiles ou récents : le nombre de ses molaires est inférieur à celui de tout autre genre connu de cette sous-classe ; il fournit ainsi, vers l'extrémité la plus éloignée de la chaîne, les vrais caractères qui, sous l'empire de cette loi, n'auraient dû se rencontrer que dans quelques types de marsupiaux vivants. »

Le manuscrit de ces pages était prêt à livrer à l'impression (février 10, 1857), lorsque je reçus de M. Beckles une portion de crâne de mammifère, comprenant les deux maxillaires supérieurs, leurs dents, le palais en débris, et indiquant un petit insectivore. Au côté droit de la mâchoire on voit la série entière des molaires et des incisives. Les molaires sont plus nombreuses, mais les caractères de la dentition, suivant le docteur Falconer, montrent des rapports avec ceux du genre insectivore *Ericulus*, propre à Madagascar : d'après les indications générales, le fossile serait un petit insectivore à placenta (1).

Ce fossile est le premier exemple d'une mâchoire supérieure de mammifère munie de ses dents découverte en roches secondaires ; M. Beckles n'en a compté plus tard que cinq (2) du même genre, parmi les vingt-huit qu'il a déterrés postérieurement (jusqu'au 20 mars). Les autres sept échantillons qui furent extraits à Purbeck par M. Brodie sont des mâchoires inférieures ; et l'on peut en dire autant des dix

(1) Bien que les dents diffèrent considérablement, par leur forme, de celles d'autres fossiles de Purbeck, il est bien possible que cet animal soit le même que l'une des petites espèces dont il a été question ci-dessus, et connues seulement par leurs mâchoires inférieures.

(2) La deuxième mâchoire du même genre que l'on découvrit fut un fragment de la partie faciale d'un Triconodon ; cet échantillon me parvint, envoyé par M. Beckles, le 18 février : il comprend le maxillaire droit avec quelques-unes des molaires, et une partie considérable du palais en bon état.

spécimens (représentant quatre espèces de mammifères) recueillis jusqu'à présent dans l'Oolite de Stonesfield.

C'est un fait surprenant que quarante à cinquante pièces ou portions latérales de mâchoires inférieures munies de leurs dents aient été découvertes au sein des couches Oolitiques, et qu'avec ces pièces ne se soient rencontrés que cinq maxillaires supérieurs, et une portion de crâne isolée (1). On ne connaît pas encore d'exemple d'un squelette complet, ou d'un grand nombre d'os en juxtaposition. Les débris sont disséminés en différents points de la roche de Purbeck ; souvent ils sont à un état très avancé de décomposition ; pour quelques-uns, le caractère de mammifère est à peine distinct, mais si tous étaient employés à restaurer des squelettes, ils suffiraient à peine pour compléter les cinq individus auxquels ont appartenu les cinq maxillaires supérieurs dont il a été question. Comme le nombre moyen des pièces constituantes d'un squelette de mammifère est d'environ 250, dans le cas actuel il doit manquer plusieurs milliers d'ossements ; pour expliquer leurs absence, peut-être aurions-nous raison d'adopter l'idée que me suggéra un jour le docteur Buckland, à propos du problème analogue de Stonesfield : « Les cadavres, me dit-il; des animaux noyés, lorsqu'ils flottent sur les rivières, gonflés comme ils le sont par les gaz résultant de la putréfaction, ont souvent la mâchoire inférieure béante ; quelquefois même celle-ci est complétement détachée ; le reste du corps flotte à la dérive vers un autre point, où, peut-être, il deviendra la proie d'un reptile ou d'un poisson vorace tels qu'Ichthyosaure ou Requin. »

On peut admettre aussi que lorsqu'un poisson ou autre animal aquatique saisit une proie en décomposition qui flotte

(1) Comme les échantillons de mammifères nous arrivent de semaine en semaine de M. Beckles, nous devons nous attendre à une augmentation considérable du nombre des individus, comme de celui des espèces, avant que les travaux d'exploration touchent à leur fin. M. Beckles, pour atteindre ces trésors, a déjà, à ses propres frais, retiré près de 3000 tonnes pesant de la pierre qui recouvre le lit n° 93.

à la surface ou gît au fond des eaux, il dévore d'abord avidement les portions charnues, et néglige telle autre partie, comme la mâchoire inférieure, presque exclusivement composée d'os et dents ; si l'organe osseux vient ensuite à se séparer, il peut rencontrer quelque courant de médiocre vitesse qui l'entraînera définitivement sur un fond de sable ou de boue, où il se trouvera pour toujours enveloppé à distance des autres os.

Parmi les plus récentes découvertes de M. Beckles (mars 19) on remarque la mâchoire inférieure d'un petit quadrupède carnassier d'âge adulte, munie d'une robuste canine et seulement de six molaires ; par ce caractère de la dentition, et par quelques autres, autant que l'observation nous permet de juger à cet égard, l'animal différait du type marsupial.

La petite taille des espèces jusqu'à ce jour recueillies est un fait digne de remarque ; les deux plus grosses ne dépassent guère d'un tiers le hérisson ou l'écureuil (1). A ce propos, le docteur Falconer fait observer que dans le dépôt d'eau douce Miocène de Sansan, département du Gers, près des Pyrénées (gisement si bien exploré par M. Lartet), il existe vers le bord du bassin une couche mince au sein de laquelle des os de petits mammifères tels que musaraignes et autres sont mêlés à des débris de grenouilles très abondants ; au contraire, vers la portion plus centrale de ce bassin, se rencontrent des squelettes entiers de *Mastodonte* et d'autres animaux gigantesques. La couche mince n° 93 du Purbeck peut représenter également les eaux basses d'une rivière, d'un lac ou d'une lagune, dans les parties plus profondes des-

(1) Parmi diverses acquisitions qui ont récemment enrichi la collection de M. Beckles (avril et mai 1857), et dont on n'a encore examiné qu'une partie, le professeur Owen m'a fait remarquer une portion de mâchoire inférieure de mammifère carnivore, probablement marsupial, de la taille du chat du pôle (*pole-cat*), *Mustela putorius*. Une différence dans la forme de l'une des prémolaires, qui porte un seul sillon vertical externe, l'a conduit à regarder ce fossile comme un nouveau genre, auquel il propose le nom de *Galestes*, abrégé de mots grecs signifiant *chat du pôle* et *bête de proie* (carnassier).

quelles auront été ensevelis des animaux fossiles d'une grande taille.

D'après l'ensemble des pièces recueillies par MM. Brodie et Beckles, y compris le *Spalacotherium* et une mâchoire inférieure appartenant au Rév. P. Brodie, que M. Owen a bien voulu me communiquer, on possède dès aujourd'hui (mars 14) quatorze espèces de mammifères du Purbeck Moyen ; et, sur ce nombre, je passe sous silence de nombreux débris présentant le plus haut intérêt ostéologique, mais sur lesquels on ne saurait hasarder aucune conjecture jusqu'à ce qu'ils aient été étudiés avec plus de détail. Ils appartiennent à huit ou neuf genres, les uns insectivores ou carnassiers, les autres encore obscurs quant à leurs affinités, et un dernier, herbivore pur, allié au Kanguroo-Rat d'Australie. Quelques-unes des espèces carnivores étaient des marsupiaux, et, parmi ces dernières, suivant l'opinion de Falconer, certaines appartenaient probablement aux placentaires.

Comme tous ces fossiles proviennent d'une surface qui ne dépasse pas 4 57 mètres carrés, et d'une seule couche qui ne mesure que quelques centimètres d'épaisseur, nous pouvons en toute sûreté conclure que tous vécurent ensemble dans la même région ; et, suivant toute probabilité, ce n'est ici qu'une fraction des mammifères qui habitèrent des terres baignées par une rivière et ses tributaires. Ils fournissent la première preuve positive connue jusqu'à ce moment de la coexistence d'une faune variée de la classe la plus élevée des vertébrés, avec ce large développement de reptiles qui a laissé des traces à travers toutes les périodes, depuis le Trias jusqu'au Crétacé Inférieur inclusivement, — de la coexistence aussi de cette faune avec une flore gymnosperme où les cycadées et les conifères prédominaient sur toutes les autres espèces de plantes, moins les fougères ; ces conclusions reposent sur quelques probabilités, autant du moins que nous pouvons en juger dans l'état imparfait de nos connaissances actuelles sur la botanique fossile.

Par le tableau suivant le lecteur verra d'un seul coup d'œil

le remarquable développement en nombre que présentent actuellement les espèces Mammifères du Purbeck Moyen comparées à celles des autres formations plus anciennes que le gypse de Paris ; en même temps, il appréciera l'énorme hiatus qui s'offre aujourd'hui dans l'histoire des mammifères fossiles entre les périodes du Purbeck et de l'Eocène (1).

(1) J'ai dressé ce tableau avec l'aide de M. le professeur Owen pour les mammifères fossiles d'Angleterre, et de MM. Lartet et Hébert pour ceux des couches Éocènes de France. Il existe, en outre, plusieurs espèces non décrites dans les collections de ces deux derniers paléontologistes, ou dans des musées à leur connaissance ; et, quant à une ou deux localités Éocènes sur le continent, placées en dehors du bassin de Paris, l'âge des dépôts était trop peu connu pour nous permettre d'intercaler ici leurs fossiles.

Nombre et distribution de toutes les espèces connues de mammifères fossiles des couches plus anciennes que le Gypse de Paris ou que la série de Bembridge de l'île de Wight.

TERTIAIRE.	Série de Headon, et couches comprises entre le Gypse de Paris et le Grès de Beauchamp.	14	10	Anglais.
			4	Français.
	Argile de Barton et Sables de Beauchamp	0		
	Couches de Bagshot, Calcaire Grossier, et Soissonnais Supérieur de Cuise-la-Motte.	20	16	Français.
			1	Anglais.
			3	États-Unis (1).
	Argile de Londres, y compris les Sables de Kyson.	7	Tous Anglais.	
	Argile Plastique et Lignite	9	7	Français.
			2	Anglais.
	Sables de Bracheux.	1	1	Français (2).
	Sables de Thanet, et Landénien inférieur de Belgique	0		
SECONDAIRE.	Craie de Maestricht.	0		
	Craie Blanche	0		
	Craie Marneuse	0		
	Grès Vert Supérieur	0		
	Gault	0		
	Grès Vert Inférieur.	0		
	Weald Clay, etc.	0		
	Sables de Hastings	0		
	Oolite Supérieure de Purbeck	0		
	Oolite Moyenne de Purbeck	14	Anglais (Purbeck).	
	Oolite Inférieure de Purbeck	0		
	Oolite de Portland.	0		
	Kimmeridge-Clay.	0		
	Coral-Rag.	0		
	Oxford-Clay	0		
	Grande Oolite.	4	Anglais (Stonesfield).	
	Oolite Inférieure.	0		
	Lias.	0		
	Trias Supérieur	1	Wurtemberg. (Stuttgart)	
	— Moyen	0		
	— Inférieur	0		
PRIMAIRE.	Permien.	0		
	Carbonifère	0		
	Silurien	0		
	Cambrien	0		

(1) Plusieurs *Zeuglodon* trouvés dans l'Alabama, et que des zoologistes ont rapportés à 3 espèces.

(2) Les Sables de Bracheux, bien qu'un peu plus anciens que l'Argile Plastique, seraient, pour M. Prestwich, un peu plus nouveaux que les Sables de Thanet, — probablement un équivalent marin des lits d'eau douce ou d'eau saumâtre de Woolwich. Ils ont fourni, à la Fère, l'*Arctocyon* (*Palæocyon*) *primævus*, le plus ancien mammifère tertiaire connu.

Après ce que j'ai dit à la fin du chapitre XXVII, pages 213, 217, t. II, et chap. XXV, p. 131, même tome, il ne me reste que peu de chose à ajouter sur la portée des découvertes qui viennent d'être faites dans le Purbeck, et sur les théories géologiques qui ont été trop hâtivement avancées en faveur de la non-existence ou de la rareté, à de certaines époques, d'animaux à respiration aérienne, théories déduites du fait qu'on n'aurait jusqu'à présent découvert aucune trace de ces animaux au sein des couches dont il est question. Toutefois, je me garderai d'omettre qu'à travers les Sables de Hastings sont répandus de petits lits d'argile et de grès au sein desquels M. Beckles a découvert de nombreuses empreintes de pas de quadrupèdes ; les mêmes lits se rencontrent, accompagnant un groupe semblable de roches, dans le Sussex et l'île de Wight. Ces empreintes paraissent appartenir à trois ou quatre espèces de reptiles, mais aucune d'elles ne se rapporte d'une manière précise aux quadrupèdes à sang chaud. Le fait de leur présence doit être pour nous un avertissement utile : lorsqu'il nous arrivera de ne pas découvrir d'empreintes de pas de mammifères au sein de roches plus anciennes que les précédentes (dans le Nouveau Grès Rouge, par exemple), nous ne devrons pas pour cela nous hâter de conclure que tous les quadrupèdes autres que des reptiles ont fait défaut à la création de ces temps-là.

Mais les couches du Purbeck nous fournissent encore un autre enseignement ; toutes ces couches, à l'exception de quelques petits lits d'eau saumâtre ou salée qui les accompagnent, sont d'origine d'eau douce ; leur puissance totale est de 48 mètres ; elles ont été fouillées par d'habiles collectionneurs, par feu Édouard Forbes en particulier, et étudiées pendant plusieurs mois consécutifs ; on les a comptées, et le contenu de chacune d'elles a été soigneusement noté par les officiers du *Geological Survey* de la Grande-Bretagne. Forbes les a divisées en trois groupes distincts, tous trois caractérisés par le même genre de mollusques pulmonés et de Cypris, mais par des espèces différentes ; elles recèlent des

insectes de divers ordres, et des fruits de plusieurs plantes ; enfin, elles contiennent des *lits de boue*, ou anciennes surfaces de terre et de sol, à différents niveaux, et, au travers de quelques-unes, on remarque des troncs et souches en position verticale, des cycadées et des conifères avec leurs racines encore en place. Cependant, lorsque le géologue interroge cette merveilleuse série, et se demande si jamais à aucune de ces trois périodes ne vécurent des animaux terrestres d'un rang plus élevé en organisation que les reptiles, les roches sont silencieuses ! Sur un point seulement, un simple petit lit de quelques centimètres d'épaisseur répond à la question, et la page restreinte qu'il nous fournit sur l'histoire de la terre suffit néanmoins pour révéler tout d'un coup le souvenir d'espèces de mammifères fossiles en nombre tel, qu'il dépasse déjà celui de plusieurs des sous-divisions de la série Tertiaire, et de beaucoup celui de toutes les autres roches secondaires prises ensemble !

Suivant le professeur Owen, les Insectivores du Purbeck appartiendraient en partie à la même famille naturelle que ceux de Stonesfield. Quelques-uns au moins furent des marsupiaux, et, d'après le docteur Falconer, le *Plagiaulax* de Purbeck, marsupial herbivore lui-même, se rapprocherait tellement du *Microlestes* du Trias, qu'il faudrait considérer ce mammifère le plus ancien comme étant aussi un quadrupède à poche, ayant quelque affinité avec le Kanguroo-Rat vivant.

En Australie et dans les îles environnantes vivent environ cent espèces de marsupiaux, avec un certain nombre de placentaires (chauves-souris et rongeurs) ; par opposé, sur notre continent, les espèces fossiles montrent que les Kanguroos, Wombats, loups de Tasmanie (ou *Thylacines*), Dasyures, et autres marsupiaux d'espèces aujourd'hui éteintes ont précédé la création actuelle. Bien que les localités de Stuttgart, Stonesfield et Purbeck n'occupent pas une surface plus large que l'île moyenne de la Nouvelle-Zélande, durant la période Oolitique une bien plus large surface en Europe a dû

jouir de certaines conditions géographiques et climatériques, et nourrir une végétation particulière, favorable à une faune plus rapprochée de celle des Antipodes actuels que de celle de l'Europe moderne. Pendant les périodes Triasique Supérieure, Liasique et Oolitique succédèrent des groupes de quadrupèdes analogues aux précédents, et cela, jusqu'à une époque plus rapprochée de nous où, après l'intervalle marqué par les roches Wealdiennes et Crétacées, un autre état géographique ayant succédé, les Mammifères Tertiaires d'Europe entrèrent en scène, et vinrent occuper la même surface.

Toutefois, les partisans de la doctrine du développement progressif donneront une autre explication de ces phénomènes : ils rapporteront la proportion considérable de marsupiaux des faunes de Stonesfield et de Purbeck à des conditions plutôt chronologiques que climatériques, à l'âge de la planète plutôt qu'à l'état particulier d'une portion de sa surface continentale. Aux époques Triasique et Oolitique, pour eux n'avait point encore commencé la création ou le développement d'êtres plus élevés en organisation. — L'expérience nous prêtera des lumières à ce sujet, et nous dira plus tard si de telles idées sont fondées. En attendant, rappelons-nous que l'Australie nourrit aujourd'hui cent espèces de Marsupiaux, tandis que le reste des continents et des îles du globe, qui compte environ 1700 espèces de mammifères, ne fournit que 46 marsupiaux (les Opossums des deux Amériques); n'oublions pas aussi que, durant la période Pliocène, à travers l'Europe, l'Asie et l'Amérique, autant du moins que nous l'apprennent les faits jusqu'à ce jour acquis, vint une faune d'animaux à placenta, composée d'espèces pour la plupart aujourd'hui éteintes, et qui fut contemporaine des Marsupiaux, eux-mêmes éteints, de la période Pliocène en Australie. De tels faits, bien que trop limités pour nous permettre déjà de tirer avec confiance des conclusions générales, semblent impliquer qu'à une certaine époque du passé, de même que de nos temps, la prédominance de divers familles de mammifères terrestres a dépendu bien plus des conditions de

l'espace que de celles du temps, ou, en d'autres termes, que cette prédominance a subi la loi beaucoup plus des circonstances géographiques que du développement successif de l'organisation, à mesure que la planète parcourait les temps.

DÉCOUVERTE DE DÉBRIS DE MAMMIFÈRES AU SEIN DE ROCHES D'UNE HAUTE ANTIQUITÉ, DANS LA CAROLINE DU NORD, ÉTATS-UNIS.

Six semaines seulement se sont écoulées depuis la publication, dans la première édition de ce supplément, des remarques qui précèdent sur les mammifères de Purbeck, et déjà, pendant ce court intervalle, nos connaissances sur l'ancienne distribution géographique des Mammifères Secondaires ont fait un pas nouveau. Le docteur Emmons annonce, dans un volume récemment publié de sa *Géologie de l'Amérique* (VI partie, p. 93), qu'il a découvert, l'année dernière (1856), trois mâchoires inférieures d'un mammifère insectivore au sein de bancs houillers à Chatam, Caroline du Nord. Il a donné une figure de la branche de l'une de ces mâchoires, longue de 0m,023, et portant une série continue de dix molaires, une canine et trois incisives. Les trois molaires postérieures sont tricuspides, comme chez le *Spalacotherium;* les quatre suivantes, multicuspides; les trois antérieures, simples, coniques et minces. Les incisives sont séparées comme celles du *Phascolotherium*, marsupial type. La structure de la mâchoire, d'après la figure publiée par le docteur Emmons, montrerait à la fois quelques points d'analogie avec le *Spalacotherium*, et quelques différences avec le même type.

Le docteur Emmons a nommé ce fossile *Dromatherium sylvestre.* Il rapporte à la période Permienne les couches au sein desquelles il était enfoui, pour le motif principal qu'elles contiennent des débris de Sauriens Thécodontes; mais comme des espèces fossiles de cette famille de reptiles se sont rencontrées également dans le Trias Supérieur de Wurtemberg,

la raison alléguée par ce savant n'entraîne pas une valeur décisive. Toutefois, le fossile est sans aucun doute aussi ancien que le bassin houiller de Richmond, Virginie, que j'ai décrit dans le *Manuel*, p. 20, t. II. Le *Dromatherium* appartiendrait donc à la partie inférieure de la série Jurassique, plus ancienne que le schiste de Stonesfield, et, par conséquent, on peut le regarder comme l'un des représentants les plus anciens jusqu'à ce jour connus de la classe des mammifères.

TRIAS SUPÉRIEUR DES ALPES ORIENTALES. (P. 28, t. II.)

Constatation d'un équivalent marin du Trias Supérieur dans les Alpes Autrichiennes. — Véritable position des couches de Saint-Cassian et de Hallstatt. — 800 espèces nouvelles de Mollusques et de Rayonnés Triasiques. — Lien fourni ainsi entre les faunes Paléozoïque et Néozoïque.

La véritable position, au travers de la série générale, de certaines roches des Alpes nommées *les couches de Saint-Cassian*, a été pendant longtemps un sujet de doute et de discussion ; mais les recherches poursuivies par plusieurs géologues éminents parmi lesquels je citerai principalement De Buch, Élie de Beaumont, Murchison, Sedgwick et Klipstein, en Suisse MM. Escher et Mérian, et, plus récemment, en Autriche MM. von Hauer, Suess et Hoernes, ont démontré que ces roches sont très certainement du Keuper ou Trias Supérieur. Il a été prouvé aussi que les lits de Hallstatt sur le versant septentrional des Alpes Autrichiennes sont d'âge correspondant aux couches de Saint-Cassian du versant opposé de la même chaîne. Par ces découvertes, la Paléontologie a gagné tout à coup et de la manière la plus inattendue une riche faune marine appartenant à une période que l'on avait d'abord supposée très dépourvue de débris organiques, le Trias Supérieur en Angleterre, en France et dans le nord de l'Allemagne étant représenté principalement par des lits d'origine d'eau douce ou d'eau saumâtre. M. Édouard Suess,

de Vienne, à qui l'on doit plusieurs mémoires sur les roches en question, a bien voulu me donner le sommaire suivant de l'ordre de succession des lits de Hallstatt dans les Alpes Autrichiennes; j'ai eu l'heureuse occasion, lors de mon voyage en automne, 1856, de vérifier ses résultats, en société de M. Gümbel, de Munich.

Les lits les plus supérieurs, énumérés en première ligne, gisent immédiatement au-dessous du Lias Inférieur du Jura de Souabe. Ce terrain est représenté près de Vienne par un calcaire brun, contenant les *Ammonites Bucklandi*, *A. Conybearii*, etc.

Couches Infra-liasiques (?) des Alpes Autrichiennes, par ordre descendant.

1. Lits de Koessen. (Synonymes: Lits Supérieurs de Saint-Cassian, de Escher et Mérian; Trias Supérieur? ou intermédiaire entre le Lias et le Trias.)	Calcaire gris et noir, avec marnes calcaires, d'une épaisseur d'environ 15 mètres. Parmi ses fossiles abondent les Brachiopodes; quelques espèces, peu nombreuses, sont communes au Lias; grand nombre sont particulières. *Avicula contorta*, *Pecten Valoniensis*, *Cardium Rhæticum*, *Avicula inæquivalvis*, *Spirifer Munsteri*, Dav. Les couches qui contiennent les fossiles ci-dessus alternent avec les lits de Dachstein, qui viennent ensuite au-dessous.	
2. Lits de Dachstein, entre le Lias et le Trias.	Calcaire blanc ou grisâtre, souvent en lits de 0m,90 à 1m,20 d'épaisseur. Épaisseur totale de la formation, environ 600 mètres. Partie supérieure fossilifère, avec quelques couches composées de coraux (*Lithodendron*). Partie inférieure dépourvue de fossiles. Parmi les coquilles caractéristiques sont l'*Hemicardium Wulferii*, *Megalodon triqueter*, et autres grandes bivalves.	
3. Lits de Hallstatt (ou Saint-Cassian). Trias Supérieur.	Marbre rouge, panaché ou blanc, de 240 à 300 mètres de puissance, contenant plus de 800 espèces de fossiles marins, la plupart des Mollusques. Plusieurs espèces d'*Orthoceras*, *Ammonites* vraies, outre des *Ceratites* et *Goniatites*, *Belemnites* (rare), *Porcellia*, *Pleurotomaria*, *Trochus*, *Monotis salinaria*, etc.	
4. *A.* Lits de Guttenstein *B.* Lits de Werfen, base du Trias Supérieur? Trias Inférieur de quelques géologues.	*A.* Calcaire noir et gris, épais de 45 mètres, alternant avec les lits de Werfen, qui gisent au-dessous.	Parmi les fossiles, le *Ceratites Cassianus*, *Myacites Fassaensis*, *Naticella costata*, etc.
	B. Schiste et Grès Rouge et Vert alternant avec les lits inférieurs de Werfen.	

Quant à l'âge des roches que nous venons d'énumérer, certains géologues rapportent les lits de Koessen et de Dachstein au Lias, d'autres au Trias, et plusieurs les considèrent comme étant d'âge intermédiaire. Suivant M. Suess, les lits de Koessen correspondraient au lit à ossements supérieur de Souabe dans lequel a été découvert le *Microlestes* (voy. p. 36, t. II) ; mais il ne faut pas oublier que cette couche contient de véritables espèces Triasiques de reptiles et de poissons. En somme, les lits 1 et 2 montrent une faune très particulière, et M. Suess fait remarquer que quelques-uns de leurs fossiles sont identiques à ceux des *lits de Portrush*, Irlandais, du colonel Portlock, décrits dans le Rapport de ce savant sur Londonderry. Les lits de Koessen ont été suivis sur 185 kilomètres, des environs de Genève à ceux de Vienne.

Mais quels que soient les doutes qui subsistent encore sur l'âge exact des lits n^os^ 1 et 2, il est aujourd'hui hors de contestation que ceux de Hallstatt et de Saint-Cassian appartiennent au Keuper ou Trias Supérieur ; mais le Grès de Werfen, n° 4, doit-il faire partie de la même série ? ou bien, comme Von Hauer penche à le croire, être classé comme équivalent du *Bunter* ou *Trias inférieur?* L'absence de fossiles bien caractérisés du Muschelkalk, dans les Alpes Autrichiennes, ne permet pas facilement de résoudre cette question. D'après de riches dépôts de sel associés aux lits de Werfen, quelques géologues ont pensé que ces lits pouvaient appartenir au Trias Supérieur. Si on les classait comme *Bunter*, le calcaire de Guttenstein correspondrait alors en position au Muschelkalk ; mais on n'a jamais rencontré de fossiles du Muschelkalk à travers ce dépôt ou celui de Werfen ; tandis que, d'un autre côté, on sait que du véritable Muschelkalk existe dans les Alpes Italiennes et en Hongrie ; de telle sorte que bientôt les doutes seront levés à cet égard.

Plusieurs des 800 espèces fossiles de Hallstatt et de Saint-Cassian n'ont pas encore été décrites ; quelques-uns se rapportent à des genres nouveaux particuliers tels que *Scoliostoma*

(fig. 4) et *Platystoma* (fig. 5), deux Gastéropodes ; *Koninckia* (fig. 6), Brachiopode.

FIG. 4. — *Scoliostoma*, Saint-Cassian.

FIG. 5. — *Platystoma Suessii*, Hoernes; de Hallstatt.

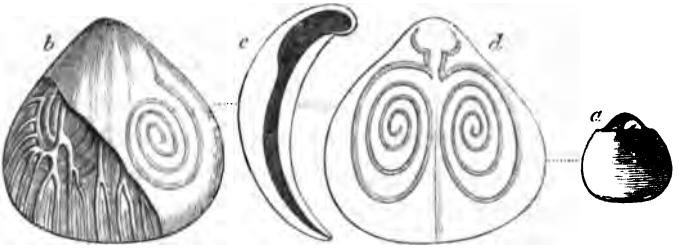


FIG. 6. — *Koninckia Leonhardi*, Wissmann.

a. Face dorsale, grandeur naturelle. — *b*. Face ventrale, portion de la valve ventrale enlevée pour montrer l'intérieur de la valve dorsale et ses empreintes vasculaires. On distingue l'un des processus spiraux à travers la coquille translucide. — *c*. Coupe des deux valves. — *d*. Intérieur de la valve dorsale, avec les processus spiraux restaurés (Suess).

Le tableau suivant des genres de coquilles marines de Hallstatt et de Saint-Cassian, que j'ai dressé avec l'aide de MM. Suess et Woodward, montre le grand nombre de liens que fournit dès aujourd'hui le Trias Supérieur entre la faune des roches primaires et celle des roches secondaires.

Genres de Mollusques fossiles des lits de Saint-Cassian et de Hallstatt.

Communs aux roches plus anciennes.	Genres Triasiques caractéristiques.	Communs aux roches plus nouvelles.
Cyrtoceras.	Ceratites.	Ammonites.
Orthoceras.	Scoliostoma (ou *Cochlearia*).	*Belemnites.
Goniatites.	Naticella.	*Nerinæa.
*Loxonema.	Platystoma.	Opis.
*Holopella.	Isoarca	Cardita.
Murchisonia.	Pleurophorus.	Trigonia.
Euomphalus.	Myophoria.	Myoconchus.
Porcellia.	Monotis.	Ostrea (1 espèce).
*Megalodon.	Koninckia.	Plicatula.
Cyrtia.		Thecidium.

Les genres marqués d'un astérisque sont donnés sur l'autorité de M. Suess, et les autres, sur celle de M. Woodward d'après les échantillons de Saint-Cassian que possède le Muséum Britannique.

La première colonne indique la dernière apparition de plusieurs genres caractéristiques des couches paléozoïques. La deuxième contient d'autres genres qui distinguent le Trias Supérieur, se montrant particuliers à ce terrain, ou atteignant leur maximum de développement à cette époque. La troisième colonne marque la première existence de genres destinés à devenir plus abondants à des époques postérieures.

Comme on n'avait jamais rencontré d'*Orthoceras* dans le Muschelkalk marin, on fut fort étonné lors de la première découverte de 7 ou 8 espèces de ce genre à travers les couches de Hallstatt. Certaines de ces espèces, de grande taille, sont associées à de larges Ammonites à lobes feuillés (*foliated*), forme que l'on n'a pas encore rencontrée aussi bas dans la série ; tandis que l'Orthocère n'a jamais été vue à un niveau aussi élevé, bien que dans ces derniers temps on l'ait signalée au sein des couches d'Adnet, ou Lias Inférieur, en Autriche. Sans aucun doute, si, plus tard, il nous était donné d'étudier une faune marine aussi riche de l'âge du Bunter-sandstein ou Trias Inférieur, nons verrions la grande différence qui existe entre les formes Paléozoïques et Néozoïques disparaître presque totalement, et la durée de temps entre les ères Permienne et Triasique semblerait beaucoup moins longue.

SUR L'EXISTENCE SUPPOSÉE DE PLANTES PHÆNOGAMES (NON GYMNOSPERMES) DANS LA FORMATION HOUILLÈRE. (P. 83, t. II.)

C'est une question de savoir si jamais le botaniste n'a extrait de couches plus anciennes que le Weald un seul échantillon bien déterminé de plantes à fleurs autres que Gymnospermes (Conifères et Cycadées). Supposant l'absence de ces sortes de plantes, des auteurs ont admis que les genres les plus élevés en organisation avaient été créés, ou s'étaient développés à des époques comparativement modernes ; cependant l'*Antholithes* de la Houille (dont nous

avons donné la figure (p. 84, t. II) a, dès l'année 1835, été considéré par Lindley comme allié aux Broméliacées. Récemment aussi, M. Ch. Bunbury m'a fait remarquer dans sa collection un Antholite provenant du bassin houiller de Newcastle, qu'il compare à l'*Antholyza*, genre d'Iridée. Le docteur Hooker, à qui j'ai montré cet échantillon, a bien voulu m'adresser à son sujet les observations suivantes :

« Kew, 18 février 1837.

» Après mûr examen du magnifique échantillon d'*Antholithes Pitcairniæ* que vous m'avez confié, je n'hésite pas à revenir sur l'opinion que je vous avais d'abord exprimée (*Manuel*, etc., p. 84, t. II), savoir : qu'il peut exister un rapport entre le genre Antholite et les Conifères. Tous les échantillons que j'avais d'abord étudiés étaient imparfaits, et m'avaient suggéré l'idée que les fleurs (ainsi nommées) seraient peut-être des touffes de jeunes feuilles semblables à celles du Larix. Dans le spécimen que j'ai maintenant sous les yeux, ces organes sont beaucoup mieux conservés, et confirment (autant que ces sortes de matériaux peuvent le faire) l'idée de Lindley : que l'*Antholithes* est un épi de plante à fleur d'un degré supérieur d'organisation, et en pleine floraison. Ce spécimen, comme vous savez, ne présente pas de structure ; c'est une empreinte, et, par conséquent, je ne puis juger de ses affinités que par les apparences. Or, je ne sache rien, parmi les végétaux Cryptogames, ni parmi les Phænogames gymnospermes, qui offre la moindre ressemblance avec cet *Antholithes ;* mais à la fois les Monocotylédonés et les Dicotylédonés comprennent des genres auxquels on peut, avec raison, le comparer. Je veux parler, dans les premières, de genres de *Broméliacées*, *Scitaminées* et *Orchidées*, et, dans la dernière, de genres de *Labiées*, *Lobéliacées*, et de quelques autres. En somme, la ressemblance est plus frappante avec les *Broméliacées*, parmi lesquelles se range le genre *Pitcairnia* qui a suggéré le nom spécifique employé par Lindley. »

Un autre Antholite, en apparence d'espèce différente, trouvé par M. Prestwich dans les couches houillères de Coalbrook-Dale, et décrit par M. Morris sous le nom d'*Antholithes anomalus*, avec figure, dans les *Transactions de la Société Géologique de Londres* (2e série, vol. V, pl. XXXVIII, fig. 5). Il diffère complétement de tout type connu de la classe des Gymnospermes ou de celle des Cryptogames, et ressemble beaucoup, par ce que l'on suppose être le développement de ses organes floraux, au type Phænogame ordinaire. Néanmoins, jusqu'à présent, M. Robert Brown et le docteur Hooker considèrent encore certains appendices terminaux de ce genre curieux comme non déterminés ; ses affinités ne sont donc pas définitivement établies.

ROCHES SILURIENNES ET CAMBRIENNES, ET THÉORIE DES COLONIES DE M. BARRANDE.

Depuis que j'ai mentionné dans le texte du *Manuel* (p. 189, t. II) les découvertes faites en Bohême par M. Barrande, et relatives aux roches Paléozoïques, j'ai eu le précieux avantage, durant l'été, 1856, de visiter, en société de ce savant, le champ de ses heureux travaux aux environs de Prague, d'observer l'ordre et la succession des roches tels qu'il les interprète, enfin, d'admirer l'immense collection qu'il a recueillie pendant plus de vingt ans. Cette collection, pour le nombre et l'importance des objets qui la composent, serait comparable bien plus aux résultats d'un travail commandé par un Gouvernement, qu'à des acquisitions faites au moyen de ressources privées. Plus de 1500 espèces d'invertébrés fossiles, nouvelles à l'exception de quelques Brachiopodes, et toutes appartenant à des couches plus anciennes que le Devonien, ont couronné les habiles recherches de l'infatigable géologue.

M. Barrande a démontré, dans un récent ouvrage, que la faune qu'il appelle *primordiale*, faune de date correspon-

dante aux roches cambriennes d'Angleterre, est aussi contemporaine des fossiles des schistes alunifères et des calcaires de Suède si bien décrits par M. Angelin. Dans les deux contrées, cette faune, la plus ancienne jusqu'à ce jour connue, se compose presque exclusivement de Trilobites ; on n'a guère réussi, jusqu'à présent, à y découvrir aucun mollusque ou échinoderme de la même période. Toutefois, nous avons suffisamment démontré que des circonscriptions (ou provinces) distinctes d'animaux et de plantes avaient existé, à ces temps si éloignés, en Scandinavie, en Bohême, en Angleterre, aux États-Unis.

Les Trilobites ont fourni, au sein de ces couches *primordiales*, 27 espèces en Bohême, 71 en Scandinavie, 12 en Amérique, et 10 en Angleterre ; toutes se rapportent à un même groupe de genres, mais pas une sur cent n'est commune aux différentes surfaces. La doctrine de l'universalité d'une faune primordiale, autrefois si populaire, se trouve ainsi, et pour toujours, renversée. Si elle conserve encore un reste d'appui dans l'esprit de quelques paléontologistes, c'est probablement parce que certaines plantes de l'ère carbonifère sont très développées en surface. Mais, outre les faits qui viennent donner chaque jour à ce cas un caractère d'exception, il devient de plus en plus évident que l'anomalie apparente tient en partie à la prédominance, dans cette flore ancienne, de Fougères et de Lycopodiacées, ordres dont les espèces vivantes sont répandues sur une si large surface, et, en partie, à l'abondance de plantes telles que les Sigillariées, qui n'ont pas d'analogues vivantes. Aucune preuve, jusqu'à ce jour, n'établit véritablement que les Conifères de l'ère carbonifère aient eu un plus large développement en surface que les espèces vivantes de la même classe.

M. Barrande a démontré que des ensembles distincts d'espèces ont habité des régions séparées, non-seulement aux plus anciennes époques paléozoïques connues, mais encore aux temps de ses seconde et troisième faunes, pendant lesquels se sont déposées les roches de l'âge des Siluriens Inférieur et

Supérieur d'Angleterre. A ces époques vécurent des espèces particulières de Crustacés, de Céphalopodes, de divers autres mollusques et de coraux : un groupe en Bohême, un autre en Scandinavie, et d'autres encore dans les diverses grandes régions que nous avons précédemment énumérées, en un mot, partout où ces anciennes couches ont été étudiées avec soin.

Mais si, à chaque première époque, des régions séparées sur la terre ont été simultanément peuplées de groupes distincts d'espèces marines appropriées au climat, à la profondeur de la mer, à la nature minérale des fonds, à la position relative des continents et des plus grandes îles, enfin aux diverses conditions des deux mondes organique et inorganique, — à chaque première époque aussi la surface du globe a dû être partagée en provinces zoologiques distinctes, séparées l'une de l'autre seulement par d'étroites et abruptes barrières comme l'isthme actuel de Suez, ou celui de Panama. On sait qu'une faune marine particulière vit aujourd'hui de chaque côté de ces deux étroites langues de terre, et il est évident qu'un léger affaissement de la croûte terrestre, de quelques centaines de décimètres seulement, suffirait pour déterminer l'invasion des espèces d'un territoire à l'autre ; on se demande s'il ne subsiste aucune trace d'invasions pareilles laissées çà et là par les exhaussements et abaissements itératifs qu'attestent les faits géologiques. M. Barrande a trouvé une réponse claire et satisfaisante à cette question ; il a découvert près des limites supérieures des couches Siluriennes Inférieures de Bohême (dans son *Étage D*) une masse intercalée, de forme lenticulaire, d'une roche fossilifère dont les débris organiques sont tous spécifiquement identiques avec ceux que fournissent les dépôts qui les recouvrent, ou Siluriens Supérieurs. Il a donné à cette faune d'intrusion le nom de *Colonie*, nom un peu ambigu peut-être, mais exprimant fidèlement une partie de sa théorie, c'est-à-dire consacrant l'existence d'une faune contemporaine presque alliée à la troisième faune E ou du Silurien Supérieur, laquelle, pendant le dépôt des couches D, se serait

établie sur la surface actuelle du pays de Bohême, et en aurait été plus tard expulsée pour réapparaître après un certain laps de temps sous un aspect un peu différent. Voici une copie de la coupe par laquelle M. Barrande explique cette théorie des Colonies, coupe que j'ai vérifiée sur place, du moins en ce qui concerne la succession géologique et la position des roches. On verra que la colonie indiquée E par M. Barrande,

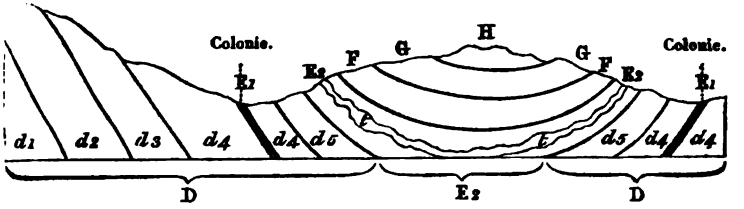


FIG. 7. — *Coupe à travers les Couches Siluriennes formant bassin au centre de la Bohême. — Barrande.*

D. Silurien Inférieur, avec fossiles de la deuxième faune de M. Barrande, contemporain des Llandeilo-flags de Murchison. (*d* 1 à *d* 5. Sous-divisions du terrain précédent). — E 1. Colonie, ou lits intercalés, avec fossiles la plupart spécifiquement identiques avec ceux de E 2. — E 2, F, G, H. Sous-divisions du Silurien Supérieur, avec fossiles de la troisième faune de Barrande. — *t*. Trapp d'origine contemporaine à E 2, et qui se montre aussi quelque peu dans le dépôt E 1.

mais que j'appellerai E 1, se rencontre au milieu des couches *d* 4, l'une des sous-divisions de D (ainsi désignée par Barrande). La faune propre à E 1 ne contient pas moins de soixante-cinq espèces, dont cinq particulières ou non connues ailleurs, deux communes à la faune de *d* 4, dans laquelle elles sont intercalées, et les autres cinquante-huit appartenant à la base de la troisième faune ou du Silurien Supérieur de Barrande, que j'ai marquée de la lettre E 2.

Feu Édouard Forbes, commentant cette théorie des colonies, disait : « Si les géologues l'acceptent, elle affectera matériellement la valeur des débris organiques dans la détermination de l'âge et de la série des formations, car elle suppose l'introduction d'un groupe d'espèces que l'expérience a prouvé appartenir normalement à une formation postérieure et distincte, introduction non simplement par mélange au sein de la faune d'un étage plus ancien, mais en groupe distinct intercalé dans cette faune (1). » Ainsi, le professeur Forbes, tout

(1) *Quart. Geol. Journ.*, 1854, vol. X, p. 34.

en professant la plus haute admiration pour les talents et les travaux de M. Barrande, se demande si l'observation des faits a été bien exacte, et il ajoute : « Dans une contrée très tourmentée où les couches inclinent sous des angles aigus, et ont été soumises probablement à des bouleversements ou contorsions, il peut très bien se rencontrer des interversions à un degré tel, que l'on voie des fossiles plus nouveaux gisant à un niveau supérieur ou égal à celui des fossiles plus anciens. » Mais si mon regrettable ami eût visité les environs de Prague, il aurait appris que les assises dans cette région ne présentent point la confusion de celles des Alpes, et promptement il aurait acquis la conviction qu'un observateur aussi habile que M. Barrande n'avait pu se tromper. En effet, l'ordre de superposition, à travers la contrée dont il s'agit, n'est nullement obscur ; de plus, on observe dans les faubourgs de Prague, que j'ai eu l'occasion d'examiner, un point où la formation coloniale intercalée E 1 se trouve réduite en épaisseur à $0^{m},12$, où cependant elle se montre encore parfaitement caractérisée par son contenu organique, bien que présentant en ce même endroit, comme du reste on devait s'y attendre, un léger mélange de faunes distinctes, par exemple deux des espèces de *d* *h* associées à un grand nombre de fossiles propres à E 1.

Maintenant, comment expliquer ces phénomènes ? Les faits en eux-mêmes me paraissent avoir été mal interprétés, et cela par deux causes : d'abord, peut-être, par l'emploi du mot *Colonie*, ensuite par le manque de noms distincts pour la désignation des deux périodes ou sous-divisions de temps E 1 et E 2. Ces faits, du reste, sont loin d'être simples : ils impliquent à la fois la colonisation alternative d'une certaine étendue de pays par deux nations distinctes d'espèces, et le changement non interrompu de caractères pour les deux nations contemporaines, changement consistant dans l'extinction d'anciennes espèces et la naissance ou la première apparition d'espèces nouvelles. M. Barrande est comparable tout à fait à un antiquaire qui prétendrait avoir trouvé la preuve par

un monument de l'établissement d'une colonie Anglo-Saxone sur des possessions romaines à l'époque de l'empereur Justinien ; on ne connaît en réalité aucun anachronisme dans les faits paléontologiques tels qu'ils se présentent en Bohême, et tels que les a décrits l'auteur dans sa théorie des *Colonies*. Il nous dit seulement, quant à la colonie E 1, que sur soixante-trois espèces, cinq lui sont particulières sur les points où elle se montre dans son plein développement, — en d'autres termes, les espèces de E 1 et E 2 offrent une différence s'élevant à environ 8 ou 9 pour 100, ce qui indique un changement de non moins d'un douzième de la faune totale dans l'intervalle compris entre E 1 et E 2, pour ne rien dire de la discordance qui résulterait de la rareté d'espèces particulières dans la première période, rareté contrastant avec leur abondance dans la seconde, et *vice versâ*.

Avant de se croire autorisé à regarder ce cas comme anormal, ou ne se montrant point en harmonie avec les lois connues qui ont régi la fluctuation du monde organique durant les âges, le géologue doit d'abord démontrer que la faune appelée D a subi de plus profondes altérations que la faune de la mère-contrée de E 1 et E 2 pendant l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre le dépôt E 1 et celui appelé E 2 ; en d'autres termes, il doit prouver que plus d'un douzième des espèces de D ont disparu, et plus de 8 ou 9 sur 100 de nouvelles espèces ont fait apparition à travers l'espace entre *d* 4 et *d* 5. Or, autant que j'ai pu le savoir de M. Barrande, on ne possède jusqu'à présent aucun détail assez précis sur les fossiles de ces deux divisions pour être en droit d'admettre que la quantité de fluctuation des deux faunes, dans la période dont il est question, fut très inégale. Pendant l'ère qui s'écoula entre E 1 et E 2 se déposèrent les couches de schiste micacé et grès du système D, sur plus de 915 mètres d'épaisseur, et tandis que s'accumulait cette masse immense de roches, quelques espèces disparurent, un plus grand nombre survécurent et peuplèrent *d* 4 et *d* 5 ; d'autres fossiles furent spéciaux à chacune de ces sous-divisions.

Des roches trappéennes accompagnent les *lits à Colonies* E 1, et leur sont décidément contemporaines. Parfois on rencontre une orthocère enveloppée de greenstone, avec cailloux roulés et fragments angulaires de trapp entremêlés avec les fossiles de la colonie.

On observe aussi, à la base de E 2, des intrusions de roches ignées semblables, et M. Barrande, avec raison, invoque ces représentants volcaniques à l'appui de son hypothèse de changements antérieurs de niveau par lesquels une barrière jadis existante de terre ferme aurait pu s'abaisser temporairement, et permettre aux courants d'eau salée d'affluer du N.-E., pour introduire la faune E 1 dans une région d'abord occupée par D; une répétition, ajoute-t-il, d'oscillations semblables, aurait forcé plus tard les colons à la retraite, et amené le retour subséquent de plusieurs d'entre eux à l'époque où la faune E 2 obtint un domicile fixe en Bohême. Des courants chauds, comme le Gulf Stream, débouchant dans une mer froide, apporteraient avec eux tout un ensemble d'espèces propres à un milieu plus chaud qui se substitueraient ainsi aux indigènes de la mer plus froide, tandis que des courants froids envahissant une mer chaude produiraient des phénomènes analogues. Dans chacun des cas, le long des bords de l'espace colonisé, quelques membres de la faune indigène primitive maintiendraient leurs possessions territoriales contre les nouveaux venus; et, précisément ceci explique comment sur les points où le dépôt E 1 vient à s'amincir de manière à ne plus présenter que l'épaisseur de quelques centimètres, quelques espèces de D sont mêlées à celles de E 1.

Il sera peut-être utile d'ajouter qu'à travers E 2 (formation calcaire qui mesure seulement 150 mètres de puissance), M. Barrande a recueilli plus de neuf cents espèces fossiles d'invertébrés. Le groupe de couches passe à F, dans sa partie supérieure, ce second groupe à G, et G à H, chacun d'eux montrant vers les points de contact un si grand nombre d'espèces communes que M. Barrande s'est cru obligé de considérer le tout comme un seul système; toutefois, comme

résultat moyen des changements, lorsqu'on compare les deux extrémités de la série, on trouve seulement 1 pour 100 d'espèces communes à E 2 et H.

Plusieurs conclusions importantes découlent des faits, si nous admettons l'exactitude de ceux-ci et leur interprétation telle que nous l'avons développée précédemment. M. Barrande lui-même remarque : avant ses découvertes, un géologue eût-il trouvé sur quelque point en Europe, au N.-E. de Prague, des roches caractérisées par les fossiles de E 1, il les eût indubitablement regardées comme appartenant au Silurien Supérieur, au lieu de les assigner à leur véritable époque, savoir à celle de D du Silurien Inférieur. D'un autre côté, la faune D, après son expulsion totale de la région de Prague, eût-elle continué à vivre ailleurs sous une forme légèrement modifiée, par exemple sous celle de *d* 6 (ainsi désignée dans la nomenclature de Barrande), une telle faune aurait très certainement été confondue plus tard avec celle du Silurien Inférieur, bien qu'en réalité elle soit contemporaine de couches généralement classées par les géologues comme Silurien Supérieur.

L'esprit peut avec raison s'alarmer de la confusion à laquelle sont exposées diverses questions de chronologie géologique, lorsqu'il faut compter avec d'anciens dépôts existants sur la limite de provinces distinctes de populations organiques. Mais une pensée consolante nous reste, c'est que toute cette ambiguïté ne découle en définitive que de l'étroite harmonie existant entre les conditions présente et ancienne du globe, et des lois imposées aux changements soit des êtres organisés qui l'habitent, soit des corps inorganiques qui le composent. Aussi longtemps que nous aurons confiance dans la doctrine des causes actuelles, nous posséderons la clef pour interpréter les mystères des temps passés, et nous ne devrons pas désespérer ; mais, eussions-nous admis la théorie contraire, c'est-à-dire qu'aux époques reculées les causes auraient été différentes soit en nature, soit en intensité, notre science continuait pour jamais à n'être qu'un simple jeu de conjectures ou d'ingénieuses spéculations.

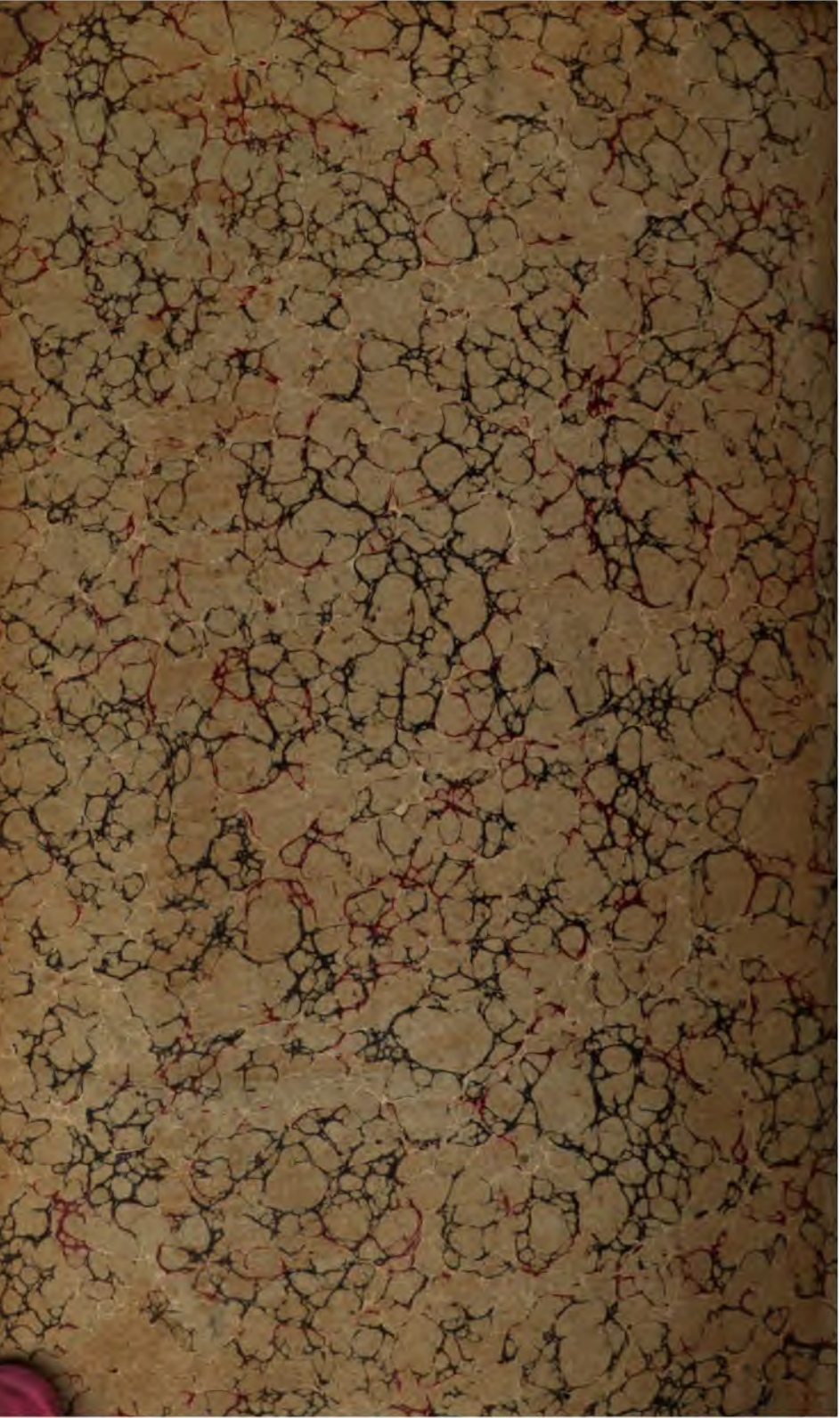
ANCIENNETÉ D'OISEAUX FOSSILES. (P. 213, t. II.)

Depuis l'impression du tableau (p. 213, t. II), qui date de 1854, les premières preuves constatant l'apparition de cette grande classe de vertébrés au sein des couches ont reculé vers le temps ; il faut les placer aujourd'hui à un niveau plus bas dans la série Tertiaire. Vers le commencement de 1855 furent signalés à Meudon près de Paris, à la base de l'Argile Plastique, le tibia et le fémur d'un grand oiseau dont la taille égalait au moins celle de l'autruche. Cet oiseau, auquel on a donné le nom de *Gastornis Parisiensis*, paraîtrait, d'après les mémoires de MM. Hébert, Lartet et Owen, appartenir à un genre éteint. Le professeur Owen le rapporte à la classe des oiseaux terrestres de rivage, plutôt qu'à une espèce aquatique (1).

La formation, si exploitée dans un but économique, de l'Argile Plastique des environs de Paris, et des argiles ou sables qui lui correspondent en âge dans le voisinage de Londres, n'avait cependant fourni jusqu'à présent aucun vestige de bipède ailé ; la découverte nouvelle nous apprend combien il faut encore apporter de soins dans toutes les recherches ou interprétations ostéologiques relatives aux oiseaux, avant que l'existence de cette classe de vertébrés soit constatée par des preuves plus positives que la simple empreinte supposée de leurs pas.

(1) *Quart. Geol. Journ.*, vol. XII, p. 204, 1856.

Paris. — Imprimerie de L. MARTINET, rue Mignon, 2.



YC 21329

QE26
L82
1856
v.2

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY